



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**T E S I S**

**INFLUENCIA DE CURADORES QUÍMICOS PARA LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO  
DE 21 MPA EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA 2021**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER MAYKOL STEVE FERNANDEZ NINA**

**ASESOR:**

**MGR. FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA - PERÚ**

**2022**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA.....	i
PÁGINA DE JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	xvii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción de la realidad del problemática .....	1
1.2 Definición del problema.....	3
1.2.1 Problema general. ....	3
1.2.2 Problemas específicos. ....	3
1.3 Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo general. ....	4
1.3.2 Objetivos específicos. ....	4
1.4 Justificación y limitaciones de la investigación.....	4
1.5 Alcances y limitaciones .....	5
1.5.1 Alcances. ....	5
1.5.2 Limitaciones.....	6

1.6 Variables .....	6
1.6.1 Variable independiente. ....	6
1.6.2 Variable dependiente.....	6
1.6.3 Operacionalización de variables. ....	7
1.7 Hipótesis de la investigación.....	8
1.7.1 Hipótesis general.....	8
1.7.2 Hipótesis derivadas. ....	8
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Antecedentes de la investigación .....	10
2.1.1 Ámbito Internacional. ....	10
2.1.2 Ámbito Nacional.....	12
2.2 Bases teóricas.....	15
2.2.1 Concreto normal.....	15
2.2.2 Curado del concreto. ....	31
2.2.3 Curador químico. ....	39
2.2.4 Madurez del concreto.....	41
2.3 Marco Conceptual .....	46
2.3.1 Agregados. ....	46
2.3.2 Calor de hidratación.....	46
2.3.3 Cemento Portland.....	47
2.3.4 Concreto.....	47
2.3.5 Curado del concreto.....	47
2.3.6 Curador químico. ....	47
2.3.7 Resistencia a la compresión.....	48

2.3.8 Granulometría.....	48
2.3.9 Peso específico.....	48
2.3.10 Peso unitario.....	48
2.3.11 Probetas.....	49
2.3.12 Relación A/C.....	49
2.3.13 Madurez del concreto.....	49
2.3.14 Método de curado.....	49
<b>CAPÍTULO III: MÉTODO .....</b>	<b>51</b>
3.1 Tipo de la investigación.....	51
3.2 Diseño de la investigación.....	51
3.2.1 Análisis de datos.....	52
3.3 Población y muestra.....	53
3.3.1 Población.....	53
3.3.2 Muestra.....	53
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	60
3.4.1 Materiales.....	60
3.4.2 Instrumentos para la elaboración de probetas.....	61
3.4.3 Datalogger.....	62
3.4.4 Termómetro digital.....	62
3.4.5 Prensa Hidráulica de Concreto.....	63
3.4.6 Balanza: Capacidad de 30 Kg.....	64
3.4.7 Programas de Cómputo.....	64
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS... ..</b>	<b>65</b>
4.1 Presentación de resultados por variables.....	65

4.1.1 Resistencia a la Compresión y Curadores Químicos. ....	66
4.1.2 Madurez del concreto y curadores químicos.....	77
4.2 Contratación de hipótesis .....	98
4.2.1 Hipótesis general.....	98
4.2.2 Primera hipótesis específica.....	101
4.2.3 Segunda hipótesis específica.....	104
4.2.4 Tercera Hipótesis específica. ....	108
4.3 Discusión de resultados.....	111
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
5.1 Conclusiones .....	114
5.2 Recomendaciones .....	115
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>125</b>
Matriz de Consistencia.....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido de tablas</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Operacionalización de variables .....	7
Tabla 2 Composición química del cemento por tipo. ....	16
Tabla 3 Límites granulométricos de agregado grueso .....	20
Tabla 4 Clasificación del agregado fino de acuerdo a su granulometría .....	21
Tabla 5 Concentración máxima de sustancias presentes en el agua de mezcla para cemento Pórtland .....	22
Tabla 6 Determinación de la distribución de probetas.....	55
Tabla 7 Determinación de la muestra de probetas para el control de la temperatura del concreto .....	56
Tabla 8 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una capa de curador químico Sika Antisol S .....	66
Tabla 9 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con Aplicación de dos capas de curador químico Sika Antisol S.....	68
Tabla 10 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una sola capa de curador químico Chema Membranil.....	69
Tabla 11 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de dos capas de curador químico Chema Membranil.....	70
Tabla 12 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una sola capa de curador químico SikaCem Curador .....	72
Tabla 13 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con Aplicación de dos capas de curador químico SikaCem Curador .....	73
Tabla 14 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras curadas por inmersión .....	75
Tabla 15 Resultados de pruebas de resistencia en muestras sin curar .....	76
Tabla 16 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico Sika Antisol S .....	78
Tabla 17 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de Sika Antisol S .....	78
Tabla 18 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico Sika Antisol S .....	80

Tabla 19 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de Sika Antisol S.....	81
Tabla 20 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico Chema Membranil .....	83
Tabla 21 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de Chema Membranil .....	83
Tabla 22 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico Chema Membranil .....	85
Tabla 23 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de Chema Membranil.....	86
Tabla 24 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico SikaCem Curador .....	88
Tabla 25 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de SikaCem Curador .....	89
Tabla 26 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico SikaCem Curador.....	90
Tabla 27 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de SikaCem Curador .....	91
Tabla 28 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto curadas por inmersión.....	93
Tabla 29 Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras curadas por inmersión .....	94
Tabla 30 Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto sin curar .....	95
Tabla 31 Índice de la madurez y resistencia de muestras sin curar .....	96
Tabla 32 Resistencia a la compresión del concreto según método de curación ...	98
Tabla 33 Resistencia a la compresión del concreto con una capa de aditivo según tipo .....	101
Tabla 34 Resistencia a la compresión del concreto según método de curación considerando el promedio de resistencias del concreto de una capa de aditivo .	102
Tabla 35 Resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curador químico según tipo .....	105

Tabla 36 Resistencia a la compresión del concreto del promedio de las resistencias de concreto con una y dos capas de curador químico .....	105
Tabla 37 Promedio de resistencia a la compresión e índice de madurez de acuerdo al número de capas aplicadas de curador químico al concreto a los 28 días .....	110



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido de figuras</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1 Fisuras en el concreto por baja resistencia a la compresión.....	2
Figura 2 Intervención de variables en la resistencia a la compresión .....	8
Figura 3 Intervención de la humedad, temperatura y velocidad del viento en la rapidez de la evaporación de agua del concreto.....	32
Figura 4 Tiempo de curado recomendado de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad.....	33
Figura 5 Absorción superficial inicial de agua a los 10 minutos durante el curado inicial respecto a la relación Agua Cemento de la mezcla.....	34
Figura 6 Representación de la madurez del concreto de acuerdo al tiempo y temperatura .....	41
Figura 7 Instalación de Termómetros Digitales para el Monitoreo de Temperatura durante el Curado del Concreto. ....	57
Figura 8 Aplicación del Curador Químico SikaCem Curador en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto .....	57
Figura 9 Aplicación del Curador Químico Membranil Vista en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto .....	58
Figura 10 Aplicación del Curador Químico Sika Antisol S en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto .....	59
Figura 11 Probetas de concreto con Aplicación de Curador Químico durante el Proceso de Curado .....	59
Figura 12 Probetas de concreto con Aplicación de Curador Químico Antisol S 1 y 2 capas, y sin curar durante el Proceso de Curado.....	59
Figura 13 Proceso de Curado de las Probetas Patrón para el Análisis del Curado por Inmersión .....	60
Figura 14 Proceso de Elaboración de Probetas de concreto .....	61
Figura 15 Datalogger para registro de información de temperatura de las muestras en campo .....	62
Figura 16 Fotografía del termómetro en funcionamiento en campo.....	63
Figura 17. Ensayo de resistencia a la compresión con prensa hidráulica. ....	63

Figura 18 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico Sika Antisol S .....	66
Figura 19 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Sika Antisol S.....	68
Figura 20 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico Chema Membranil .....	70
Figura 21 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Chema Membranil.....	71
Figura 22 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico SikaCem Curador .....	72
Figura 23 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Sika Antisol S.....	74
Figura 24 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras curadas por inmersión.....	75
Figura 25 Evolución de la resistencia a la compresión para muestras sin curar...	77
Figura 26. Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S .....	79
Figura 27 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S .....	79
Figura 28 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Sika Antisol S .....	81
Figura 29 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Sika Antisol S .....	82
Figura 30 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil .....	84
Figura 31. Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Chema Membranil .....	85
Figura 32 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil .....	87
Figura 33 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil .....	87

Figura 34 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de SikaCem Curador .....	89
Figura 35 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de SikaCem Curador .....	90
Figura 36 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de curador químico SikaCem Curador .....	92
Figura 37 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de SikaCem Curador .....	92
Figura 38 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto curadas por inmersión.....	94
Figura 39 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto curadas por inmersión.....	95
Figura 40 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto sin curación.....	97
Figura 41 Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S .....	97
Figura 42 Gráfico comparativo de valores de resistencia a la compresión del concreto de acuerdo al método de curación y día. ....	99
Figura 43 Gráfico comparativo de valores de resistencia a la compresión del concreto de acuerdo al método de curación y día. ....	103
Figura 44 Valores de resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curadores a los 28 días. ....	106
Figura 45 Valores de resistencia a la compresión promedio con una y dos capas a los 28 días. ....	107
Figura 46 Curvas de correlación de resistencia a la compresión e índice de madurez del concreto con una capa de curador químico .....	109
Figura 47 Curvas de correlación de resistencia a la compresión e índice de madurez del concreto con dos capas de curador químico.....	109

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar el efecto de los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021, así también se planteó hallar el efecto de la aplicación de una y dos capas de curadores químicos en la resistencia, así como la relación entre la aplicación de curadores y la madurez del concreto. La investigación fue del tipo aplicada con diseño experimental cuantitativo, y se determinó una muestra de 128 cilindros de concreto de 150x300mm. Se compararon los valores de resistencia a la compresión de las muestras a los 3, 7, 14, 21 y 28 días a las cuales se les aplicaron una y dos capas de curadores químicos Antisol S, Chema Membranil y SikaCem Curador, con muestras a las cuales no se les aplicó ninguna capa de curador químico y se establecieron relaciones para cada caso. Para hallar la relación entre la aplicación de curadores químicos y la madurez del concreto se establecieron muestras de control de temperatura tanto para las muestras con curador químico como las muestras sin curar y con curación por inmersión. Como resultado se halló que existe una relación positiva entre la aplicación de curadores químicos y la resistencia a la compresión final del concreto tanto para muestras con una y dos capas de curadores químicos, asimismo se halló que la aplicación de curadores químicos influye en la madurez del concreto incrementando el índice de madurez del concreto.

*Palabras clave:* concreto, resistencia a la compresión, curador químico, madurez del concreto.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the effect of chemical curing agents on the compressive strength of 21 MPa concrete in the city of Moquegua in the year 2021, as well as to find the effect of the application of one and two layers of chemical curing agents on the compressive strength, as well as the relationship between the application of curing agents and the maturity of the concrete. This research is applied with a quantitative experimental design, and a sample of 128 concrete cylinders of 150x300mm was selected. The compressive strength values of the samples at 3, 7, 14, 14, 21 and 28 days with one and two coats of chemical curing agents Antisol S, Chema Membranil and SikaCem Curador were compared with samples to which no coat of chemical curing agent was applied, and relationships were established for each case. To find the relationship between the application of chemical curing agents and concrete maturity, temperature control samples were established for both the chemically cured samples and the uncured and immersion cured samples. As a result, it was found that there is a positive relationship between the application of chemical curing agents and the final compressive strength of concrete for both one and two coats of chemical curing agents, and it was also found that the application of chemical curing agents influences the maturity of concrete by increasing the maturity index of concrete.

*Keywords:* concrete, compressive strength, chemical curing, concrete maturity.

## INTRODUCCIÓN

En cada proyecto de construcción se exigen requisitos mínimos que todas las estructuras deben cumplir y uno de los más importantes es la resistencia a la compresión del concreto cuyo procedimiento para ser calculado se encuentra descrito en la norma ASTM C39 de ASTM International (2014), “*Determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto en muestras cilíndricas*”. Para esto, el paso más importante en el logro de una resistencia a la compresión final del concreto es el proceso de curación en el cual intervienen una serie de condiciones siendo las principales la humedad y la temperatura (Valencia e Ibarra, 2013).

Actualmente existen diferentes métodos de curado cuya función principal es evitar la excesiva pérdida de humedad en la superficie del concreto, logrando darles a las estructuras mayor resistencia, durabilidad e impermeabilidad. Existe variaciones en los resultados de resistencia a la compresión del concreto de acuerdo a los diferentes tipos de curados aplicados, sean estos convencionales y o tecnológicos (Larijo, 2021).

Los curados del concreto tecnológico son relativamente poco utilizados en los proyectos debido generalmente a los costos, dificultad de uso, tiempo de aplicación o desconocimiento de los profesionales de la obra. No obstante, un inadecuado proceso de curación conlleva serios riesgos graves a la integridad de la infraestructura, sobre todo en aquellos proyectos de “autoconstrucción” que usualmente carecen de asesoría técnica especializada durante su ejecución.

En este sentido, es necesario estudiar e identificar el efecto de los métodos de curados más utilizados en los proyectos del distrito de Moquegua en la

resistencia a la compresión del concreto, para poder elegir el método que mejor se ajuste a nuestros requerimientos y que a la vez garantice un mejor desempeño en la resistencia a la compresión del concreto obtenido en obra. Con los resultados de esta investigación se busca realizar una contribución práctica para que los ingenieros, maestros, proyectistas y, en general, todas las personas involucradas en obras de infraestructura que utilicen concreto, puedan tomar mejores decisiones y potencialmente ahorrar costos y prevenir daños a las infraestructuras y personas.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

En la ciudad de Moquegua se registran condiciones climáticas con elevadas temperaturas en el transcurso del día. El Senamhi nos indica mediante su registro de monitoreos que las temperaturas más altas se presentan al mediodía con un valor máximo de 30 °C en verano. En tanto la temperatura es uno de los factores más importantes en la resistencia final de las estructuras de concreto en la ciudad de Moquegua, debemos evaluar detalladamente un método de curación que mejor se adecúe a estas condiciones de temperatura y de humedad presentes.

Asimismo, se observa la presencia predominante de las edificaciones denominadas de “autoconstrucción”, como signo de un problema nacional de proliferación de construcciones habitacionales informales, que carecen de las formalidades administrativas y exigencias técnicas que los proyectos de inversión público-privada poseen como es el caso de colegios, hospitales, puentes, etc. (Cahui, 2021).



En el diseño y construcción de edificaciones, el valor de resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ) es la propiedad más importante, la cual figura en la memoria de cálculo, planos y especificaciones técnicas de todo proyecto. Este valor obtenido en obra debe ser igual o mayor al adoptado en la concepción del proyecto, y en él intervienen una serie de variables tales como los componentes del concreto, temperatura, humedad relativa del ambiente, velocidad del viento, radiación, entre otros que influyen en la conservación de la humedad.

### Figura 1

*Fisuras en el concreto por baja resistencia a la compresión.*



*Nota.* Las fisuras se presentan en las estructuras de concreto y pueden afectar desde la estética hasta la integridad estructural de las edificaciones. Tomado de *Las fisuras en el concreto reforzado* (p. 1), por Sika Colombia, 2014.

La disminución de la resistencia del concreto de 21 MPa, en la ciudad de Moquegua conforma un riesgo elevado ya que está ubicada en una zona altamente

sísmica (zona sísmica 3 y 4) según el reglamento nacional de edificaciones (Diseño sismorresistente E.030). La degradación de la resistencia de los concretos en las estructuras compromete seriamente la rigidez e integridad de la infraestructura, incrementando su nivel de vulnerabilidad ante sismos y consecuentemente a pérdidas no solo económicas por el daño de las estructuras sino sociales, en el caso de edificaciones que ofrecen servicios públicos como colegios, hospitales, etc. y también potenciales daños a la salud y hasta muertes.

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Problema general.**

¿Cómo influyen los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

**PE1.-** ¿Cuál es el efecto de la aplicación de una capa de curador químico en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?

**PE2.-** ¿Cuál es el efecto de la aplicación de dos capas del curador químico en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?

**PE3.-** ¿Cuál es el efecto de la aplicación de curadores químicos en la madurez del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar el efecto de los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

**OE1.-** Evaluar cómo la aplicación de una capa de curador químico influye en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

**OE2.-** Evaluar cómo la aplicación de dos capas de curador químico influye en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

**OE3.-** Evaluar cómo la aplicación de curadores químicos influye en la madurez del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

### **1.4 Justificación y limitaciones de la investigación**

Esta investigación tiene como finalidad evaluar el efecto de la aplicación de los curadores químicos y su efecto en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua. La experiencia adquirida en obra y la experticia obtenida con relación al curado de concreto en las obras de la ciudad de Moquegua muestran que el curado esporádico con agua (aplicación directa y/o aspersion), con una sola aplicación de cualquier curador, es considerada insuficiente para conservar la resistencia deseada en concretos de 21 MPa. En este sentido es importante conocer a detalle el efecto de estas variables sobre la resistencia final del concreto.

La resistencia a la compresión del concreto es una propiedad relevante para alcanzar exigencias de desempeño sísmico y estructural de cualquier edificación de concreto. Para poder asegurar el comportamiento deseado en nuestras edificaciones es necesario garantizar un valor igual o mayor de la resistencia a la compresión con la que fue proyectado.

Es así que la presente investigación buscar implementar y evaluar alternativas de solución en la mejora de la calidad en concretos de 21 MPa como el curado adecuado mediante la aplicación correcta de los curadores químicos más utilizados. Esta información será de gran importancia para las empresas constructoras, ingenieros de control de calidad y/o maestros de obra de la ciudad de Moquegua.

## **1.5 Alcances y limitaciones**

### **1.5.1 Alcances.**

El alcance de esta investigación comprende la elaboración de probetas de concreto de dimensiones 150 mm de ancho y 300 mm de altura, con resistencia a la compresión de 21 MPa para dos tipos de curados, los cuales son; curado normal, donde las probetas serán sumergidas en agua hasta su rotura, el cual será considerado patrón para medir las resistencias a la compresión de las demás roturas con diferentes tipos de curado. Y, en segundo lugar, con curadores químicos, donde las probetas serán rociadas con una y dos capas de un líquido generador de membrana, en los cuales se medirá, con *datalogger*, la temperatura interna del concreto, la temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad de viento para su análisis e interpretación final. Las pruebas se realizarán a los 3, 7, 14, 21 y 28 días,

y para cada caso se elaborarán probetas de acuerdo a la norma ASTM C31, se elaborarán probetas a las cuales no se aplicará curación a fin de comparar los resultados.

### **1.5.2 Limitaciones.**

La investigación será efectuada bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Moquegua y los resultados serán válidos para estas condiciones específicas u otras cercanamente similares.

Los resultados obtenidos respecto al efecto de la aplicación una o dos capas de los diferentes curadores químicos utilizados se aplicarán al diseño de mezcla de resistencia a la compresión de 21 MPa.

## **1.6 Variables**

### **1.6.1 Variable independiente.**

- Método de curación del concreto.
- Número de aplicaciones de aditivo químico.

### **1.6.2 Variable dependiente.**

- Resistencia a Compresión de un concreto de 21 MPa.
- Madurez del concreto de 21 MPa.

### 1.6.3 Operacionalización de variables.

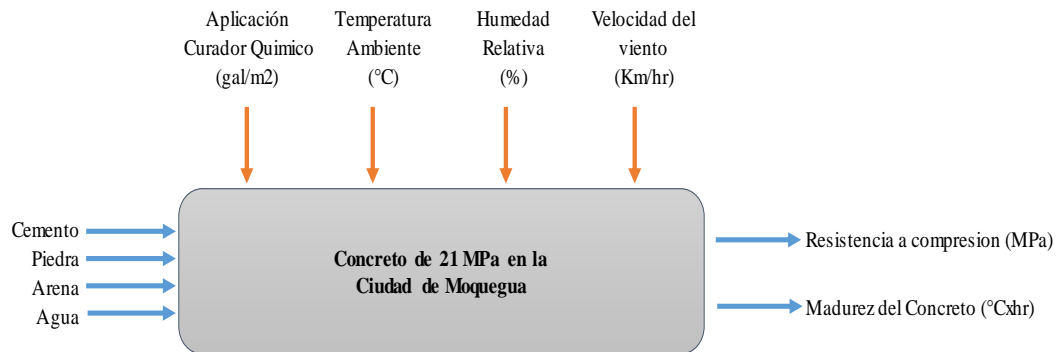
**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Tipo de Variable	Variable	Definición	Indicador	Numérica/ Categoría	Unidad de Medida
Independiente	Curador químico	Son compuestos que al ser aplicados sobre el concreto fresco se adhieren a la superficie y forman una película impermeable al agua y al aire, conservando la humedad de la mezcla y evitan el secado prematuro del concreto por efectos como el sol o el viento.	Curador químico: -Sika Antisol - Chema Membranil -Sika Cem Curador.	Categoría	L/m <sup>2</sup>
	Número de aplicaciones de curador químico.	Es la cantidad de aplicaciones del curador químico al concreto.	Número de aplicaciones	Numérica	Unidades
Dependiente	Resistencia a la compresión del concreto	Es el esfuerzo máximo que puede resistir el concreto bajo una carga de aplastamiento, cuya medida se obtiene dividiendo la carga impuesta por el área promedio de la sección de una probeta(cilindro).	Resistencia a la compresión	Numérica	MPa
	Madurez del concreto	Es una magnitud que mide el nivel térmico del concreto (°C) en el tiempo (horas).	Factor Temperatura-Tiempo	Numérica	°C x hr

## Figura 2

*Intervención de variables en la resistencia a la compresión del concreto.*



*Nota.* Este gráfico presenta las variables que intervienen en la curación del concreto y consecuentemente la resistencia a la compresión final, en este estudio se manipulará la variable Curador Químico con tres de los aditivos más comercializados en la ciudad de Moquegua y se observará su efecto en la resistencia a la compresión final del concreto.

### 1.7 Hipótesis de la investigación

#### 1.7.1 Hipótesis general.

La aplicación de métodos de curación con aditivos químicos produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

#### 1.7.2 Hipótesis derivadas.

**H1.** La aplicación de una capa de curador químico produce menores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

**H2.** La aplicación de dos capas de curadores químicos produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.

**H3.** La aplicación de curadores químicos produce una madurez mayor en el concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Ámbito Internacional.**

En el ámbito internacional existen investigaciones realizadas sobre curadores químicos aplicados a concreto como “Afectación de la Resistencia a la Compresión de Probetas en Concreto Hidráulico ante diferentes Métodos de Curado” de Gómez et al. (2019). Se estudia cómo los métodos de curado inciden en las propiedades del concreto a lo largo de su maduración, para esto los autores monitorearon la resistencia a la compresión resultante de aplicar 4 métodos de curado: Curador químico Antisol, plástico, agua y sin curación, a los 3, 7, 14 y 28 días. Como resultado del estudio los investigadores encontraron que el método de curado con agua obtuvo mejores resultados con 23.9 % mayor resistencia a la compresión de diseño, no obstante, recalcan que el método de curado depende del proyecto ingenieril y de las condiciones de temperatura y humedad del emplazamiento.

A su vez, la investigación “Comparación entre concretos curados con compuestos formadores de membrana y un producto elaborado con nanotecnología en relación con la retención de agua y la resistencia a la compresión” de Bolaños (2011). En este estudio se realizaron ensayos de concreto con un  $f'c=280\text{kg/cm}^2$  con una relación de A/C de 0.55 con cuatro tipos de curado con productos ampliamente comercializados en Colombia y un producto de nueva tecnología. Se midió la pérdida de agua de cada probeta y se realizaron las pruebas de resistencias a los 14, 28 y 56 días. El estudio concluye que los concretos que se dejan curar al aire libre pierden rápidamente la resistencia a la compresión, mientras que los que son curados con algún producto mejoran el comportamiento ante el agrietamiento, la resistencia y la permeabilidad del concreto ensayado.

En “Comparación de la Resistencia a Compresión de Especímenes de Concreto Hidráulico sometidos a condiciones tradicionales de Curado y Humedad Ambiental” de Jordán, Montoya y Ocoró (2017), se estudia la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa con respecto a 4 tipos de curado: Humedad ambiente, curado con agua, recubrimiento con plástico y con curador químico Antisol. Entre otros, evalúa la temperatura ambiente, la condición climática y la relación A/C presentes en cada muestra ensayada y como resultado observa que, gracias a las condiciones de temperatura y alta humedad relativa de la Ciudad de Pereira, Colombia, la curación mediante humedad ambiente logró la resistencia a la compresión de diseño de 99%. Las muestras patrón curadas en tanque alcanzaron 130% de la resistencia a la compresión de diseño, 123% en las curadas con plástico y 105% en el caso del curado con Antisol.

Por su parte, Guichapai (2008) en “Comparación de tres Métodos Prácticos de Curado de Hormigón aplicados en Obras Menores frente a un Patrón de Hormigón sin curar”, explora materiales relativamente económicos a modo de alternativa a curadores de membrana más costosos. Utiliza arena húmeda, aserrín y láminas de polietileno para cubrir probetas de concreto que luego fueron monitoreadas a los 7, 14 y 28 días de maduración del concreto. Como resultado se halló que la arena húmeda produce los mejores valores de resistencia a la compresión del concreto seguido de la lámina de polietileno y por último de la capa de aserrín. No obstante, resalta que el uso de láminas de polietileno es más práctico por su capacidad de ser reutilizado y por su fácil instalación, en tanto la arena húmeda requiere mayor mano de obra y es de un solo uso porque se contamina.

### **2.1.2 Ámbito Nacional.**

Duran (2018), en su investigación titulada “Estudio de las propiedades del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  aplicado a condiciones simuladas de curado en obra, en la ciudad de Arequipa, con cemento portland tipo IP” investiga muestras de columna de  $15 \times 15 \times 50 \text{ cm}$  en los que se aplica diferentes tipos de curado. Las muestras son testigos diamantinos que son ensayados a compresión simple y a tracción indirecta por compresión diametral. Concluye que la aplicación del curador químico es la metodología más apropiada y permite alcanzar mejor las propiedades de resistencia a la compresión.

Por su parte, Horna (2018), en “Influencia de los curadores, tiempo de curado y número de capas en la superficie del concreto sobre la resistencia a compresión” realizó pruebas para un concreto de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con una relación A/C de 0.55 y evaluó cuatro tipos de curado en 192 muestras en ensayos a 3, 7, 14

y 28 días. El resultado de la investigación determinó que la aplicación de los curadores químicos produce mayores valores en la resistencia a la compresión. Asimismo, Jacobo (2019), en “Influencia del Curado del Concreto con Agua y Curado Artificial en la Resistencia a la Compresión del Concreto” estudia el efecto de distintos métodos con curadores químicos como Sikacem Curador y Membranil Vista, y agua; en la resistencia a la compresión final del concreto. Evalúa aspectos importantes como la resistencia, versatilidad, durabilidad y costos asociados a fin de alcanzar las propiedades óptimas en la madurez del concreto. Mediante estándar ACI 211 (American Concrete Institute, 2022), se elaboró probetas de concreto de 21 MPa en laboratorio las cuales se monitorearon a los 7, 14, 21 y 28 días, realizando ensayos de rotura por compresión. Como resultado se obtuvo que la máxima resistencia al concreto alcanzada con agua fue de 204 Kg/cm<sup>2</sup>, 180.25 Kg/cm<sup>2</sup> con Sikacem Curador y 170.50 Kg/cm<sup>2</sup> con Membranil Vista.

Merma y Moscoso (2018) en “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con curado tradicional evaluado con máquina a compresión directa frente a un concreto curado con curadores químicos evaluado con el equipo de pulso ultrasónico PUNDIT, Cusco 2018” realizan pruebas sobre 90 probetas cilíndricas elaboradas con cemento IP y material pétreo de dos canteras de la ciudad del cusco. Los tiempos de curación al momento de los ensayos fueron de 1, 3, 7, 14 y 28 días con el objetivo de comparar distintos tipos de curadores químicos y observar la forma cómo influyen en la resistencia a la compresión. El estudio concluye que la resistencia a compresión está relacionada directamente al método y tiempo de curado.

Por otro lado, Ortiz (2020) en “Comparación entre el Curado Convencional de Concreto y Curado con Antisol en la Resistencia de Concreto”, realiza una investigación aplicada de diseño experimental con 80 probetas de ensayo, comparando los resultados de muestras con curado convencional (agua) y con curador químico Antisol. Como resultado, el autor observa que la resistencia final obtenida a los 28 días fue de 235 Kg/cm<sup>2</sup> con curado convencional y de 230 Kg/cm<sup>2</sup> con curador químico Antisol para concreto de 21 MPa en la ciudad de Huancayo.

La investigación “Variación de la Resistencia a la Compresión del Concreto 210, 245, 280 kg/cm<sup>2</sup> frente a diferentes Métodos de Curado, Lima-2019” de Alvarado (2020), aborda el método de curado convencional, con material sellador (Vinipel), con curador químico de membrana Sika Antisol y curado acelerado con agua hirviendo. Con el fin de evaluar el efecto de cada uno de estos métodos en la resistencia del concreto, se realizó un análisis comparativo y se determinó que el concreto de 21 MPa mediante el método de curado convencional con agua alcanzó 242 Kg/cm<sup>2</sup>, 222 Kg/cm<sup>2</sup> con materiales selladores, 202 Kg/cm<sup>2</sup> con curadores de membrana y tan solo 115 Kg/cm<sup>2</sup> con agua hirviendo. Lam (2005) , por su parte, en “Estudio de la Variabilidad de la Resistencia del concreto aplicando curador químico de uso externo y utilizando cemento portland tipo I” evalúa la variabilidad de la resistencia del concreto endurecido de mediana a baja resistencia con relaciones de A/C de 0.60, 0.65 y 0.70 elaborando 189 probetas con cemento IP y fueron curados de cuatro formas donde se aplicó curados de inmersión , curado con curador químico de hasta dos capas y otro expuesto al medio ambiente sin curar. Se halló que las probetas con curador químico con una sola capa obtuvieron mejores resultados. Respecto a la resistencia a la tracción y modulo elástico se obtuvieron

resultados aleatorios con una tendencia a mejores resultados con los curados con dos capas.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Concreto normal.**

Denominado también concreto simple de resistencia a la compresión de entre 21 a 35 MPa a 28 días, es el material más usado en la construcción. Su principal función es unir materiales agregados (inertes) y constituir un cuerpo sólido con resistencia y durabilidad de acuerdo a las especificaciones requeridas para la construcción de edificios y, en general, todo tipo de proyectos de infraestructura como muros, columnas, cimientos, losas, entre otros.

#### ***2.2.1.1 Cemento Pórtland.***

Es el principal componente del concreto y es el más utilizado para fabricar mezclas de concreto en el mundo. Su principal función es aglomerar los demás componentes del concreto, debido a su propiedad de endurecerse en presencia de agua gracias a la reacción de hidratación del cemento. Sus principales componentes son la alúmina, cal y sílice, los cuales son pulverizados y posteriormente mezclados con yeso sin calcinar y agua.

En esta investigación se utilizó el Cemento Pórtland IP fabricado por la empresa Yura. Este cemento es de amplia comercialización en la ciudad de Moquegua y es uno de los principales cementos puzolánicos que se utilizan en esta localidad.

### 2.2.1.2 Composición química del cemento Portland.

El cemento Portland está conformado principalmente por los siguientes compuestos químicos de acuerdo a su tipo:

**Tabla 2**

*Composición química del cemento por tipo.*

Composición Química	Tipo de Cemento				
	I	II	III	IV	V
Dióxido de silicio, (SiO <sub>2</sub> ), %, mín.	-	20,0*	-	-	-
Óxido de aluminio, (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx.	-	6,0	-	-	-
Óxido férrico, (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx.	-	6,0*	-	6,5	-
Óxido de magnesio, (MgO), %, máx.	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Trióxido de azufre, (SO <sub>3</sub> ), %, máx. (A)	-				
Cuando (C <sub>3</sub> A) ≤ 8 %	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
Cuando (C <sub>3</sub> A) > 8 %	3,5	*	4,5	*	*
Pérdida por ignición, %, máx.	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo insoluble, %, máx.	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Silicato tricálcico, (C <sub>3</sub> S), %, máx. (E)	-	-	-	35*	-
Silicato dicálcico, (C <sub>2</sub> S), %, mín. (E)	-	-	-	40*	-
Aluminato tricálcico (C <sub>3</sub> A), %, máx. (E)	-	8	15	7*	5 *
Alumino-ferrito tetracálcico, más dos veces el aluminato tricálcico (C <sub>4</sub> AF+2(C <sub>3</sub> A)) ó solución sólida, (C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F), como sea aplicable, %, máx	-	-	-	-	25 *

*Nota.* (\*) El porcentaje específico puede modificarse según las condiciones, ensayos y pruebas establecidas en la NTP 334.009. Elaborado con datos de INDECOPI (2020a).

Así también, el cemento contiene Na<sub>2</sub>O, MgO, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, etc. en menor medida. La presencia del óxido de sodio y del óxido de potasio suele ser alrededor

del 0.6% y a estos se les denomina álcalis. Si bien su presencia es mínima, su proporción no debe exceder este rango debido a que, bajo ciertas condiciones de almacenamiento o del ambiente, estos pueden reaccionar con ciertos agregados y provocar la disminución de la resistencia del concreto (Andía, 2019).

### ***2.2.1.3 Tipos de cemento Pórtland.***

De acuerdo a sus propiedades físicas, el cemento Pórtland se categoriza en cinco tipos según la Norma Técnica Peruana 334 009, (INACAL, 2020a):

- ✓ **Tipo I.** De uso general. Se usa en elementos estructurales los cuales no requieran las propiedades particulares de los otros tipos como pavimentos, pisos, tanques, concreto prefabricado, etc.
- ✓ **Tipo II.** Presenta resistencia a los sulfatos y un calor de hidratación moderados, adecuado en condiciones con presencia de sulfatos, presencia de agua subterránea o cuando el calor de la hidratación sea más alto de lo normal.
- ✓ **Tipo III.** Se caracteriza por altas resistencias iniciales, sus partículas se muelen más finamente y permite remover los encofrados con más rapidez en comparación con los otros tipos.
- ✓ **Tipo IV.** Este tipo desarrolla resistencia de manera más lenta que los demás tipos y posee un calor de hidratación bajo, se emplea en el caso de estructuras masivas donde se requiera controlar la temperatura de la reacción de hidratación.
- ✓ **Tipo V.** Se emplea en zonas donde los concretos estarán expuestos a la acción severa de sulfatos.



#### **2.2.1.4 Cementos Pórtland Adicionados.**

La NTP 334.090 especifica las características de los cementos adicionados, los cuales contienen escoria y puzolanas además de los compuestos mencionados en el apartado anterior. Estas adiciones modifican el comportamiento del concreto y se clasifican de la siguiente manera (INACAL, 2020b):

- ✓ Tipo IS. Cemento al que se le ha añadido escoria de alto horno. Hasta 70%.
- ✓ Tipo IP. Cemento Portland Puzolánico, con un contenido de hasta 40%.
- ✓ Tipo I (PM). Cemento Portland puzolánico modificado con hasta 15%.
- ✓ Tipo IL. Cemento Portland Calizo, con contenido entre 5% a 15% de *filler* calizo.
- ✓ Tipo IT. Cemento Portland Ternario, contiene hasta dos adiciones.
- ✓ Tipo ICO. Cemento Portland Compuesto con hasta 30% de filler calizo u otro material.

#### **2.2.1.5 Agregados del concreto.**

También denominados áridos, la Norma Técnica Peruana 400.011 los define como un material compuesto de partículas que pueden ser de origen natural o de origen artificial. Los agregados naturales tienen origen en procesos geológicos, los cuales se extraen y seleccionan de una fuente de acuerdo a las características geográficas y económicas de la región o localidad donde se ejecutan los proyectos. Por otro lado, los agregados artificiales o industriales se elaboran en base a rocas y un

proceso de chancado o molienda además de un proceso de tamizado o selección (INDECOPI, 2020b).

Las principales características de los agregados que tienen influencia en la elaboración del concreto son distribución granulométrica (finos y gruesos), composición mineralógica (silíceos o calcáreos), densidad o gravedad específica, por su peso unitario, por su influencia en la resistencia a la compresión (bueno, satisfactorio, regular, pobre), por sus efectos en la hidratación del cemento (inocuos, deletéreos), por su perfil (redondo, laminar, angular, semiangular, etc.), por su textura y roca de origen (basáltico, pórfido, caliza, cuarcita, etc.).

#### ***2.2.1.6 Clasificación de los agregados.***

Los agregados se pueden clasificar de acuerdo a su origen, densidad, tamaño, forma y textura, y granulometría. La clasificación más importante se refiere al análisis de tamaño de partícula y se define en el proceso de tamizado de acuerdo al rango del tamaño de partícula deseado. Para agregado fino corresponden mallas #4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y para grueso corresponderá mallas de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8".

La clasificación se realiza de acuerdo a la granulometría de los agregados la cual está definida según la norma internacional ASTM C33/C33M-18 de ASTM International (2018) de acuerdo a la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Límites granulométricos de agregado grueso*

N° ASTM	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 - 37.5 mm (3 1/2 - 1 1/2 in.)	100	90 - 100	...	25 - 60	...	0 - 15	...	0 - 5	...	...	...	...	...	
2	63 - 37.5 mm (2 1/2 - 1 1/2 in.)	...	...	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	...	0 - 5	...	...	...	...	...	
3	50 - 25.0 mm (2 - 1 in.)	...	...	...	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	...	0 - 5	...	...	...	...	
357	50 - 4.75 mm (2 in. - No. 4)	...	...	...	100	95 - 100	...	35 - 70	...	10-30	...	0 - 5	...	...	
4	37.5 - 19.0 mm (1 1/2 - 3/4 in.)	...	...	...	...	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	...	0 - 5	...	...	...	
467	37.5 - 4.75 mm (1 1/2 in. - No. 4)	...	...	...	...	100	95 - 100	...	35 - 70	...	10-30	0 - 5	...	...	
5	25.0 - 12.5 mm (1 - 1/2 in.)	...	...	...	...	...	100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	...	...	...	
56	25.0 - 9.5 mm (1 - 3/8 in.)	...	...	...	...	...	100	90 - 100	40 - 85	10-40	0 - 15	0 - 5	...	...	
57	25.0 - 4.75 mm (1 in. - No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 - 100	...	25 - 60	...	0 - 10	0 - 5	...	
6	19.0 - 9.5 mm (¾ - 3/8 in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	...	...	
67	19.0 - 4.75 mm (¾ in. - No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 - 100	...	20 - 55	0 - 10	0 - 5	...	
7	12.5 - 4.75 mm (1/2 in. - No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	...	
8	9.5 - 2.36 mm (3/8 in. - No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 - 100	10-30	0 - 10	0 - 5	
89	9.5 - 1.18 mm (3/8 in. - No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 - 100	20 - 55	5-30	0 - 10	
9	4.75 - 1.18 mm (No. 4 - No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 - 100	10-40	0 - 10	

*Nota.* Elaborado con información de ASTM International (2018).

**Tabla 4**

*Clasificación del agregado fino de acuerdo a su granulometría*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa (Acumulativo)</b>
9.5-mm (3/8")	100
4.75-mm (No. 4)	95 - 100
2.36-mm (No. 8)	80 - 100
1.18-mm (No. 16)	50 - 85
600- $\mu$ m (No. 30)	25 - 60
300- $\mu$ m (No. 50)	5 - 30
150- $\mu$ m (No. 100)	0 - 10
75- $\mu$ m (No. 200)	0 - 3.0

*Nota.* Elaborado con información de ASTM International (2018).

#### ***2.2.1.7 Agua en la elaboración del concreto.***

Principal componente en la reacción de hidratación del cemento y consecuentemente, sirve para producir el efecto deseado de endurecimiento y desarrollo de su resistencia, así también otorga trabajabilidad al concreto otorgándole la fluidez que caracteriza a la mezcla inicialmente. El agua debe cumplir parámetros para que la combinación química se produzca lo más adecuadamente posible. Esto debido a que el agua puede llegar a contener ciertas sustancias que pueden dañar al concreto y ocasionar otros problemas colaterales. La cantidad de agua es importante en tanto que demasiada agua puede crear vacíos en el concreto al momento de evaporarse y, por el contrario, muy poca generará que la hidratación del concreto no se lleve a cabo uniformemente con consecuencias negativas en la resistencia y durabilidad.

Para evitar estos fenómenos no deseados en la hidratación del cemento la Norma NTP 334.088 regula el agua de mezclado, en tanto indica los requisitos que debe cumplir de acuerdo a la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Concentración máxima de sustancias presentes en el agua de mezcla para cemento Pórtland*

<b>Concentración máxima en el agua de mezcla combinada, ppm</b>	<b>Límite (ppm)</b>
Cloruro como Cl en concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500
Cloruro como Cl en otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1000
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	3000
Álcalis como (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	600
Sólidos totales por masa	50 000

*Nota.* Elaborado con información de INACAL (2021).

### ***2.2.1.8 Hidratación del cemento.***

El cemento, en presencia de agua, se comporta químicamente como un aglutinante hidráulico cuya principal reacción química sucede entre el silicato de calcio y el aluminato. Esto produce el efecto deseado que caracteriza al concreto, el endurecimiento en el aire y el agua. Durante esta reacción se produce, sílica o SiO<sub>2</sub>, la alúmina o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxido de calcio o CaO y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### **2.2.1.9 Diseño de mezcla.**

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de dos pasos dependientes entre sí, la selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas o proporcionamiento para producir una mezcla tan económica como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada. Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad específica, así como una trabajabilidad apropiada. Además, se asume que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo, antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño (Laura, 2006).

**Granulometría.** Es una de las propiedades de los agregados donde se estima la distribución de los tamaños de los sólidos que conforman una masa de agregados; la granulometría se calcula mediante el ensayo de análisis granulométrico

establecido en la norma NTP 400.037, que implica dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

#### ***2.2.1.10 Método ACI para el diseño de mezcla.***

El método proporcionado por el Comité ACI 211.1 de la American Concrete Institute (2022), ha sido utilizado para el diseño de mezclas de concreto de peso normal de 2,240 a 2,400 kg/m<sup>3</sup>, en general, alcanzando su máxima optimización con el uso de la relación agua/cemento (A/C). Se puede apreciar que para el diseño de mezclas se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencias previas, y que, con la ayuda de tablas, gráficas y ábacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de materiales (Cáder y Oliva, 2012).

En efecto, de acuerdo a Cáder y Oliva (2012), la habilidad para manipular las propiedades concreto a las necesidades de un proyecto específico, significó un gran desarrollo tecnológico que inició a partir de los primeros años del pasado siglo. Asimismo, el uso de la relación A/C como herramienta para estimar la resistencia, fue reconocido alrededor del año 1918. Los notables progresos en la durabilidad, resultantes de la inclusión de aire fueron reconocidos a principios de los años cuarenta. Estos dos importantes avances en el empleo del concreto, han sido desarrolladas posteriormente gracias a las investigaciones y el desarrollo de una serie de ramas ingenieriles de estudio. Especialmente importante fue la investigación de aditivos para contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales o economizar. Por su parte, las técnicas de colocación y transporte del concreto fresco, así como el tipo de estructura a construir tienen

importantes efectos, inclusive el grado de control que se aplique en la obra tendrá influencia, tanto en la resistencia como en la durabilidad final del concreto seco.

**Peso específico de los agregados.** De acuerdo al ASTM C127-2015, es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo concreto de cemento Portland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) es también usada en el cálculo de vacíos en los agregados en el Método de Ensayo C29/C29M de ASTM International (2017b). La densidad relativa (gravedad específica) es usada si el agregado está húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o se asume estar seco (ASTM International, 2015).

**Peso unitario.** También denominado densidad aparente, se puede usar para determinar las relaciones masa/volumen y calcular el total de agregados a utilizar en el proyecto. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de acarreo o pila de acopio y el logrado en este método de prueba. Además, los agregados en las unidades de acarreo y las pilas de almacenamiento generalmente contienen humedad superficial y absorbida (esta última afecta el volumen), mientras que este método de prueba determina la densidad aparente sobre una base seca.



### ***2.2.1.11 Ensayos del concreto en estado fresco.***

Los problemas estructurales que se ven muy a menudo en construcciones, en algunas ocasiones, son debido al mal diseño de sus elementos, lo que obliga a realizar estudios acerca de la resistencia del material más usado, el concreto. Para ello se realizan ensayos de las propiedades del concreto en estado fresco, como el contenido de aire, peso unitario y asentamiento, para determinar sus características en estado endurecido. El más importante de estos ensayos es el análisis de resistencia mecánica o resistencia a la compresión que se realiza con muestras de concreto a través de probetas.

**Toma de muestras de concreto recién mezclado.** De acuerdo al estándar ASTM C172/C172M-17, este consiste de procedimientos para obtener muestras representativas de concreto fresco tal como se entrega en el sitio del proyecto en el que se realizarán pruebas para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad de las especificaciones bajo las cuales se suministra el concreto. El tiempo transcurrido no deberá exceder los 15 minutos entre la obtención de las porciones primera y final de la muestra compuesta. El transporte de las muestras individuales al lugar donde se realizarán los ensayos de hormigón fresco o donde se moldearán los especímenes de ensayo. Se combinarán y remezclarán con pala la cantidad mínima necesaria para garantizar la uniformidad y el cumplimiento de los plazos máximos especificados más adelante (ASTM International, 2017a).

Las pruebas de asentamiento, temperatura y contenido de aire se realizan cinco minutos después de obtener la porción final de la muestra compuesta, las cuales deben ser completadas rápidamente. Se moldearán los especímenes para pruebas de resistencia dentro de los 15 minutos posteriores a la fabricación de la

muestra compuesta. La muestra será tomada cuidadosamente y se deberá proteger del sol, el viento y otras fuentes de evaporación rápida, y de la contaminación.

**Ensayo de asentamiento del concreto recién mezclado.** Este método de ensayo cubre la determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico, tanto en el laboratorio como en el campo. Se coloca una muestra de concreto recién mezclado y se compacta con varillas en un molde con forma de tronco de cono (cono de Abrams). Se levanta el molde y se deja que el hormigón se asiente. La distancia vertical entre la posición original y desplazada del centro de la superficie superior del concreto se mide y se informa como el asentamiento del concreto. Este método de prueba se desarrolló originalmente para proporcionar una técnica para monitorear la consistencia del concreto sin endurecer. En condiciones de laboratorio, con un control estricto de todos los materiales de concreto, generalmente se encuentra que el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua de una mezcla de concreto determinada y, por lo tanto, está inversamente relacionado con la resistencia del concreto. Sin embargo, bajo condiciones de campo, tal relación de fuerza no se muestra clara y consistentemente. Por lo tanto, se debe tener cuidado al relacionar los resultados de asentamiento obtenidos en condiciones de campo con la resistencia.

**Ensayo de temperatura del concreto recién mezclado.** Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Proporciona un medio para medir la temperatura del concreto recién mezclado. La temperatura medida representa la temperatura en el momento de la prueba y puede no ser una indicación de la temperatura del concreto recién

mezclado en un momento posterior. Puede utilizarse para verificar la conformidad con un requisito específico de temperatura del hormigón. Con el fin de determinar la temperatura se utilizará el estándar ASTM C1064/C1064M de ASTM International (2017), que regula el método para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Pórtland. Este estándar permite verificar que el concreto se encuentre dentro del rango de temperatura óptimo durante el proceso de curado. Se debe tomar en cuenta que los agregados con dimensiones máximas nominales superiores a tres pulgadas o 76 mm, aproximadamente, tardan hasta 20 minutos en transferir su calor al resto del concreto.

En el proceso de medición de temperatura del concreto fresco se utilizarán los siguientes instrumentos:

- **Recipientes.** Deben ser de material no absorbente y con capacidad para agregar al menos tres pulgadas o 76 mm de concreto alrededor del sensor del termómetro en cada dirección.
- **Instrumento para medir la temperatura.** El equipo debe poder registrar temperaturas en un rango entre 0 y 50°C como mínimo y una precisión de al menos  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Deberá ser sumergido tres pulgadas o 76 mm aproximadamente durante su funcionamiento.
- **Calibración del equipo medidor de temperatura.** La calibración de los equipos de medición de temperatura del concreto fresco debe realizarse al menos una vez al año. Para su calibración se compararán los registros de temperatura en el termómetro de dos mediciones con una diferencia entre sí de al menos 15°C. Esto

se realizará en presencia de un líquido de densidad uniforme a fin de garantizar una distribución homogénea y estable de la temperatura.

Asimismo, existen precauciones durante las pruebas de calibraciones de estos equipos como conservar la temperatura del aceite o líquido utilizado en un rango que no exceda  $0,2 \pm ^\circ\text{C}$  de desviación y se deben sumergir por lo menos cinco minutos, tanto el dispositivo de medición de temperatura como el medidor de referencia. Durante el proceso, se deberá mantener el baño a temperatura uniforme y constante revolviendo el líquido continuamente.

- **Muestras de Concreto.** Se podrá medir la temperatura del concreto recién mezclado con un equipo de transporte, cuando el sensor del termómetro cubra como mínimo tres pulgadas o el equivalente de 76 mm de mezcla aproximadamente en cada dirección. Una vez vertido el concreto, se puede utilizar como recipiente cerrado el mismo encofrado y así obtener la medición precisa de la temperatura. Alternativamente, cuando un dispositivo de transporte no esté disponible, antes de recoger la muestra de mezcla, se humedecerá el recipiente y se procederá de acuerdo a la norma ASTM C172/C172M-17 de ASTM International (2017a), para recolectar muestras de concreto fresco, no obstante, no hay necesidad de combinar las muestras cuando solo requiera obtener la temperatura de manera puntual. Después se verterá el concreto fresco en el recipiente y se deberá esperar que la temperatura del concreto sea estable por un periodo de 20 minutos. Esto debido a que el concreto que contiene agregados con un tamaño nominal máximo superior a tres pulgadas o 75 mm puede tardar ese periodo en transmitir su calor al resto del material.

- **Procedimiento.** La medición se realizará a los cinco minutos después de vertida la mezcla fresca. Se coloca el termómetro en el concreto fresco sumergiendo

el sensor al menos tres pulgadas o su equivalente, 76 mm aproximadamente. Posteriormente, se presionará suavemente la superficie de concreto alrededor del termómetro para que la temperatura ambiente no tenga impacto en la medición. Luego, el termómetro será colocado dentro del concreto fresco durante dos minutos como mínimo, en caso de que la temperatura no sea estable se podrá extender la medición por 20 minutos hasta que se estabilice.

**Método de ensayo de contenido de aire en concreto recién mezclado.** Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado a partir de la observación del cambio en el volumen del concreto con un cambio en la presión. Se usa para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado excluyendo cualquier aire que pueda existir dentro de los vacíos dentro de las partículas de agregado (ASTM International, 2017c). Por esta razón, es aplicable a hormigones fabricados con partículas de árido relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección del árido (ASTM International, 2022). Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación, la granulometría, y el tamaño máximo del agregado, este aire se le conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporados a ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado (Tejada, 2016, p. 49).

**Peso unitario.** Este método de prueba sirve para determinar la densidad del concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento, el

contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón. El rendimiento se define como el volumen de hormigón producido a partir de una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes (ASTM International, 2017a).

### **2.2.2 Curado del concreto.**

Según la norma ACI PRC-308-16 del American Concrete Institute (2016), el curado de concreto consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colocado, para que puedan alcanzarse las propiedades deseadas. Solo curando correctamente se puede lograr el máximo de la resistencia y durabilidad del concreto. El uso de los curadores químicos en el curado del concreto no siempre es necesario debido a que cuando las condiciones de humedad y temperatura ambiente son adecuadas para el curado, no se requerirían aditivos adicionales. Es así que tradicionalmente se considera el curado del concreto al curado con agua.

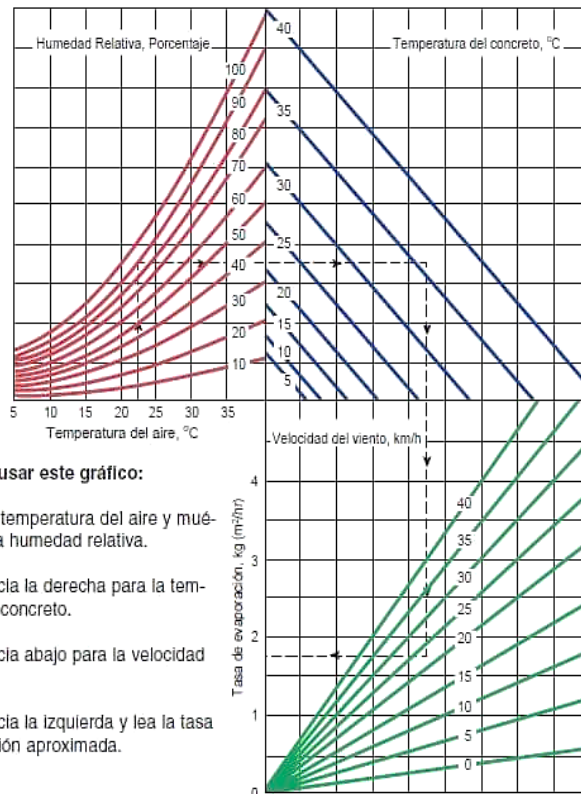
El objetivo principal del curado es desarrollar las propiedades ideales del concreto mediante la conservación de la temperatura y humedad. Se logra mediante la aplicación de agua a la superficie del concreto y recubriéndolo posteriormente mediante alguna membrana o fibra que evite la evaporación excesiva de agua.

Por su parte el recubrimiento del concreto después de ser vertido suele influir directamente en la velocidad de la pérdida de agua en la superficie del concreto, para lo cual se emplea materiales impermeables como plástico o curadores formadores de membrana.

En la Figura 3 se presenta la intervención de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento en la tasa de evaporación del agua presente en la mezcla del concreto.

**Figura 3**

*Intervención de la humedad, temperatura y velocidad del viento en la rapidez de la evaporación de agua del concreto*



**Para usar este gráfico:**

1. Entre con la temperatura del aire y muévase hacia la humedad relativa.
2. Muévase hacia la derecha para la temperatura del concreto.
3. Muévase hacia abajo para la velocidad del viento.
4. Muévase hacia la izquierda y lea la tasa de evaporación aproximada.

*Nota.* Tomado de *Curado del Concreto* (p.8), por American Concrete Institute, 2016.

### **2.2.2.1 Secuencia del curado y duración de las diferentes etapas.**

De acuerdo a la norma ACI PRC-308-16 de la American Concrete Institute (2016), el concreto atraviesa distintas fases desde que es mezclado hasta que alcanza la madurez de acuerdo al diseño del proyecto. Durante el proceso de curado se distinguen tres tipos de curados que pueden ocurrir en simultáneo o en secuencia de acuerdo a las características de la obra.

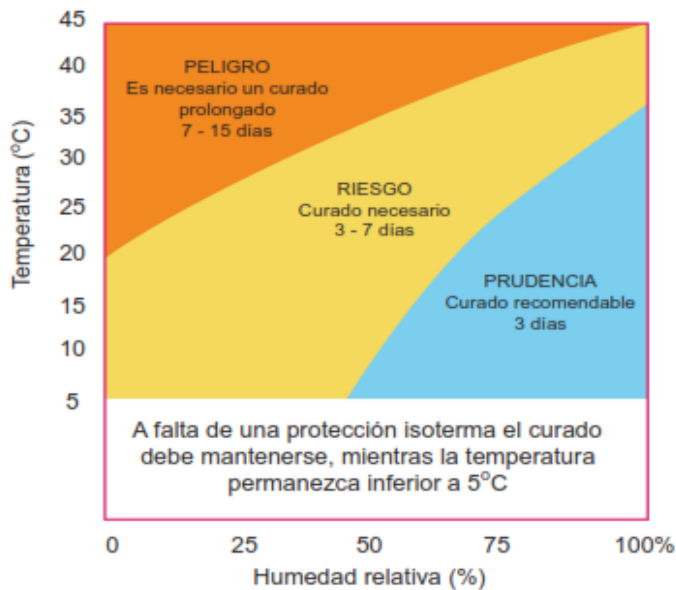
- **Inicial:** Se realiza después del acabado del concreto, con el fin de conservar la humedad de la superficie.
- **Intermedio:** Se aplica luego del afinado del concreto y antes del fraguado final.
- **Final:** Se lleva a cabo luego de concluido el afinado del concreto y después del fraguado final, una vez iniciado el desarrollo de resistencia.

### 2.2.2.2 *Tiempo y temperatura del curado del concreto.*

La recomendación general por norma ACI 308R de la American Concrete Institute(2016) es que un concreto de resistencia de 21 a 35 MPa (a 28 días), tenga un periodo de curado de siete días como mínimo. La regla general es que la mezcla de concreto debe pasar por un proceso de curado hasta alcanzar el 70% de la resistencia esperada.

**Figura 4**

*Tiempo de curado recomendado de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad*

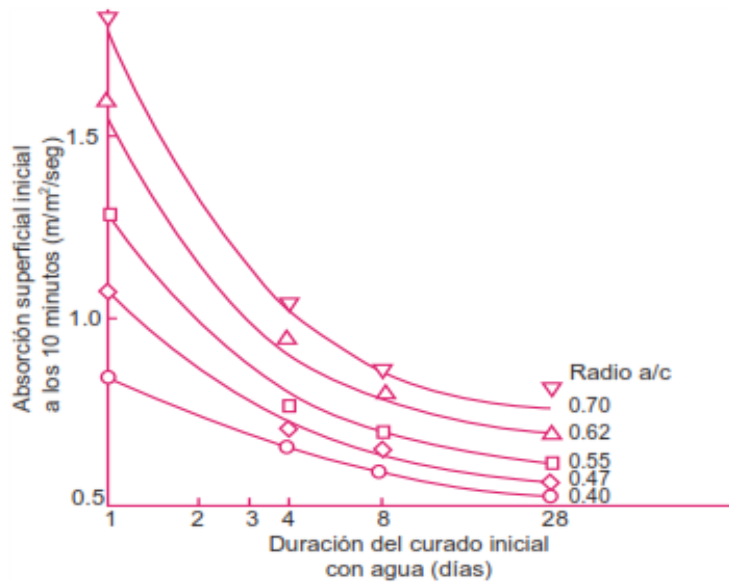


*Nota.* Tomado de *Curado del Concreto* (p.9), por Sika Colombia, 2015.



**Figura 5**

*Absorción superficial inicial de agua a los 10 minutos durante el curado inicial respecto a la relación Agua Cemento de la mezcla*



*Nota.* Tomado de *Curado del Concreto* (p.12), por Sika Colombia, 2015.

### **2.2.2.3 Curado del concreto por estancamiento e inmersión.**

En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los bordos de arena o de suelo alrededor del perímetro de la superficie del concreto ayudan a retener el agua del encharcamiento, método ideal para prevenir la pérdida de humedad y es ideal para mantener la temperatura del concreto. Se recomienda que el agua de curado no debe estar 11°C más fría que el concreto para fisuras generadas por tensiones térmicas. Como el encharcamiento requiere mucho trabajo y supervisión, este método sólo se lo emplea en pequeñas obras.

El método de curado con agua es más minucioso puesto que consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Este método se usa normalmente en

laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando se requiere que el concreto tenga una buena apariencia, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión no deben contener sustancias que manchen o decoloren el concreto. El material usado para los diques también puede decolorir el concreto. (Portland Cement Association, 2004, p.263)

#### ***2.2.2.4 Curado del concreto utilizando plástico.***

Aquellos materiales de plásticos, tales como la película de polietileno, se pueden usar en el curado del concreto. Por ejemplo, la película de polietileno, además de tener un peso ligero, retiene la humedad de manera eficiente y se la puede aplicar fácilmente tanto en elementos de formas sencillas como complejas. Su aplicación es similar a la aplicación anteriormente mencionada para el papel impermeable.

El curado con láminas de polietileno o alguna lámina impermeable puede causar decoloración en ciertas áreas, especialmente cuando el concreto posee cloruro de calcio y contiene acabados con mallas metálicas. Esto perjudica la presentación del concreto acabado y es más pronunciada cuando la película se arruga. Normalmente, en proyectos grandes, es muy difícil colocarlas y requiere un tiempo prolongado, colocar los materiales en hojas sin rugas. La decoloración se puede prevenir inundando la superficie bajo la cubierta, más otros métodos de curado se deben usar, cuando un color uniforme sea importante.

La película de polietileno debe seguir los lineamientos del estándar ASTM C171, que señala un espesor de 0.10 mm para el curado, sin embargo, solamente lista películas opacas, blancas y transparentes. No obstante, la película negra es viable y reúne condiciones satisfactorias en ciertas condiciones. La película

blanca se usa en el curado del concreto exterior en el clima caluroso, para ayudar a reflejar los rayos de sol. La película negra se la puede usar en el clima frío en áreas internas. Las películas transparentes tienen poco efecto sobre la absorción del calor.

La ASTM C171 también menciona materiales en lámina, tal como arpillera impregnada, en uno de los lados, con película de polietileno opaco en el otro. Las combinaciones de película de polietileno unida a una fibra absorbente, tal como la arpillera, ayuda a conservar la humedad sobre la superficie del concreto. La película de polietileno también se puede aplicar sobre arpillera húmeda u otro material húmedo de cobertura, para conservar el agua en el material de la superficie. Este procedimiento reduce notablemente el trabajo intenso de regar continuamente el material de la cubierta. (Portland Cement Association, 2004, p.265)

#### ***2.2.2.5 Curado del concreto utilizando coberturas húmedas.***

Generalmente, para el curado, se utilizan las cubiertas de telas saturadas con agua, como las arpilleras, esteras de algodón, mantas u otras fibras que retengan humedad. La arpillera tratada reflejante y es resistente a la putrefacción y al fuego y se encuentra lista para su instalación. Los requisitos para las arpilleras son descritos en la ASTM C171 Especificaciones para Telas de Arpillera Producidas de Yute o Kenaf.

La arpillera debe estar libre de cualquier sustancia que sea perjudicial al concreto o pueda causar descoloramiento. Se debe enjuagar la arpillera nueva para remover sustancias solubles y para volverla más absorbente. Las coberturas de tela saturada, capaces de retener el agua, deberán colocarse tan pronto el concreto se haya endurecido suficientemente para evitar daños a su superficie.

Durante el periodo de espera, se pueden usar otros métodos de curado, tales como el rociado o el uso de auxiliares de acabado formadores de membrana. Se debe tener cuidado para que toda la superficie se cubra por la tela mojada, incluyéndose los bordes de las losas. Se debe mantener la cubierta constantemente húmeda para que una capa de agua se mantenga sobre la superficie del concreto durante el periodo de curado. El uso de láminas de polietileno sobre la arpillera húmeda es una buena práctica que elimina el requerimiento de riego continuo de la cubierta. El riego periódico de la tela debajo del plástico antes de que seque, debe ser suficiente. Los ciclos alternados de saturación y secado durante la curación temprana pueden causar fisuración.

Por su parte cubiertas húmedas de tierra, arena o aserrín son eficientes para el curado y frecuentemente usadas en pequeñas obras. El aserrín de la mayoría de las maderas es adecuado, no obstante, el roble y otras maderas que contienen ácido tánico no deben ser usadas, pues el concreto puede sufrir deterioración. Una camada de 50 mm (2 pulg.) de espesor se debe distribuir regularmente sobre la superficie del concreto previamente humedecida y se la debe mantener constantemente mojada. Se puede hacer uso de paja húmeda para el curado de superficies planas, se debe colocar una camada de por lo menos 150 mm (6 pulg.) de espesor y deberán quedar fijos con una malla o lona para evitar que el viento se los lleve. La mayor desventaja de la tierra, arena, aserrín, heno o paja húmedos es la posibilidad de decoloración del concreto (Portland Cement Association, 2004, p.263).

#### ***2.2.2.6 Curado del concreto con encofrados dejados en el lugar.***

Las cimbras o encofrados establecen una protección satisfactoria contra la pérdida de humedad si se mantiene húmeda la superficie superior expuesta. La manguera

de regar es excelente para esta finalidad. Se recomienda dejar las cimbras en el concreto el mayor tiempo posible. Se deben mojar las cimbras de madera dejadas en el concreto a través de rociado, especialmente durante el clima caluroso o seco. Si no es posible realizar esto, se deben desinstalar las cimbras lo más pronto posible y se debe empezar otro método de curado sin retraso. Pueden presentarse variaciones de color en las paredes, resultantes de las cimbras y del curado desigual. (Portland Cement Association, 2004, p.266)

#### ***2.2.2.7 Efectos del clima caluroso en la curación del concreto.***

Las condiciones del clima en la obra – caluroso o frío, ventoso o calmo, seco o húmedo – pueden ser muy distintas de las condiciones ideales, asumidas en el momento de especificar, diseñar o seleccionar una mezcla o pueden diferir de las condiciones de laboratorio en las cuales se almacenaron y se ensayaron las probetas de concreto. Las condiciones de clima caluroso influyen adversamente la calidad del concreto, principalmente acelerando la tasa de pérdida de humedad y la velocidad de hidratación del cemento. Las condiciones perjudiciales del clima caluroso incluyen alta temperatura ambiente, alta temperatura del concreto, baja humedad relativa, alta velocidad del viento, radiación solar. Las condiciones del clima cálido pueden crear dificultades como aumento de la demanda de agua y aceleración de la pérdida de humedad, llevando a la adición de agua en la obra, aumento de fisuras plásticas, necesidad de curado temprano, dificultades en el control del aire incorporado, elevada temperatura del concreto, resultando en pérdida de resistencia a lo largo del tiempo, aumento del potencial de fisuración térmica.

El aumento de agua en la obra puede afectar negativamente las propiedades y las condiciones de servicio del concreto endurecido, resultando en disminución de la resistencia, por el aumento de la relación agua-cemento, disminución de la durabilidad, debido a la fisuración, aumento de la permeabilidad, apariencia no uniforme de la superficie, aumento de la tendencia de retracción (contracción) por secado y disminución de la resistencia a abrasión, por la tendencia de rociar agua durante el acabado. (Portland Cement Association, 2004, p.273)

### **2.2.3 Curador químico.**

De acuerdo a la norma ASTM C309-19 de ASTM International (2019), antes denominada American Society of Testing and Materials, los curadores químicos son sustancias químicas que al ser aplicadas sobre el concreto conforman una membrana, de color blanco o transparente que tienen el efecto de controlar la temperatura por radiación solar durante el proceso de curado del concreto, asimismo retardan la evaporación del agua presente en el concreto fresco y lo protegen de las condiciones climáticas adversas como el viento.

La norma clasifica los curadores químicos por tipos y clases, Tipo 1, claros y translúcidos, Tipo 1-D, claros y translúcidos con tintes, Tipo 2, con pigmento de color blanco; mientras que las clases son A y B, sin restricción de los sólidos contenidos y con restricciones, respectivamente.

#### ***2.2.3.1 Ensayos de efectividad para curadores químicos.***

Con el fin de asegurar la efectividad de los curadores químicos a utilizar se recomienda realizar ensayos de la siguiente manera:

- **Ensayo de retención de agua:** Se toma como referencia la tasa de aplicación especificada por el fabricante de acuerdo a su hoja de características técnicas. Si no se especifica una tasa, se puede verificar la retención de agua a través del método de ensayo establecido en la norma ASTM C156-20 de ASTM International (2020).

- **Ensayo de reflectancia:** Una vez completado el ensayo para determinar el nivel de agua retenido, se mide la reflectancia de la luz (diurna) de las muestras de acuerdo a las especificaciones del estándar ASTM E1347-03.

- **Ensayo de secado.** Se utiliza para determinar el tiempo para que un curador químico formador de membrana (aditivo) pueda llegar a secar al tacto hasta convertirse en una película en el concreto no perceptible a la vista.

### ***2.2.3.2 Importancia y uso del curador químico.***

Para garantizar la capacidad de realizar otras tareas en el concreto sin levantar o retirar la membrana de este, es importante que el aditivo o químico curador tenga un tiempo de secado adecuado.

### ***2.2.3.3 Procedimiento de aplicación.***

En primer lugar, se aplica el curador a una muestra de mortero fresco de acuerdo a la tasa indicada en la hoja de características técnicas para cada caso. Posteriormente se somete la superficie a temperaturas de  $23 \pm 2$  °C, con humedad de  $50 \pm 10\%$  y velocidad de aire de 180 m/m aproximadamente de manera horizontal. Para verificar el proceso se presiona ligeramente con el dedo. La película del curador se considerará seca cuando se sienta no pegajosa y firme al tacto.

#### 2.2.3.4 Ensayo de sedimentación a largo plazo.

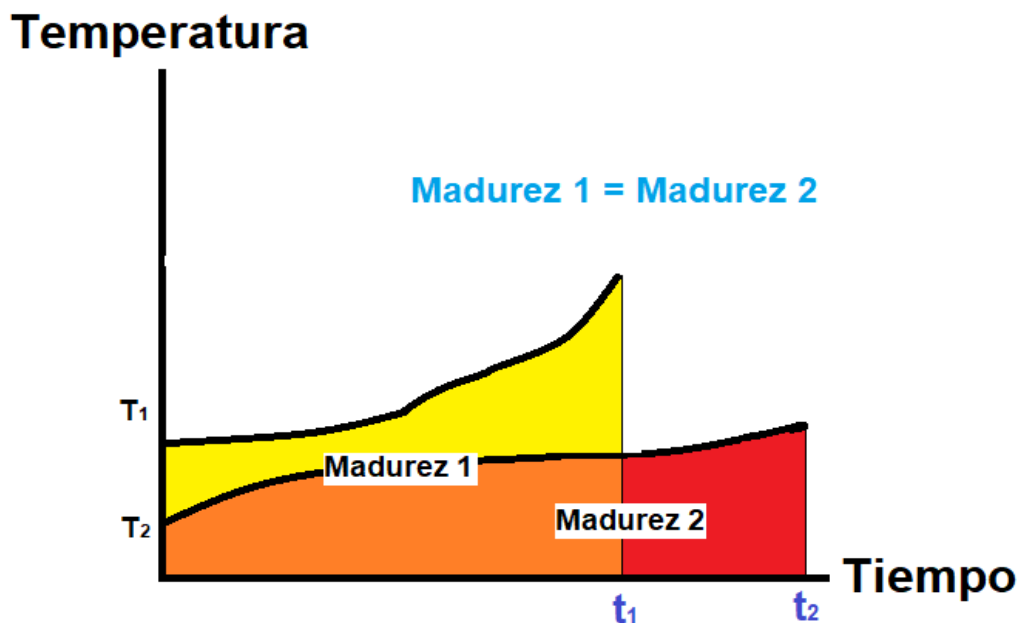
Se toma como referencia a la norma internacional ASTM D1309-19, de existir incongruencias se podrá utilizar de manera complementaria el estándar ASTM D869-21.

#### 2.2.4 Madurez del concreto.

La madurez del concreto es una característica del concreto que relaciona el tiempo, la temperatura y la resistencia a la compresión del mismo. Indica la velocidad de la hidratación del cemento presente en la mezcla de concreto, mediante un modelo matemático que utiliza los principios de la termodinámica y variables cruciales en la ejecución de proyectos como el tiempo y la resistencia del concreto.

**Figura 6**

*Representación de la madurez del concreto de acuerdo al tiempo y temperatura*



*Nota.* De acuerdo al gráfico y a la teoría de la madurez del concreto, una misma mezcla de concreto puede alcanzar la misma madurez en tiempos distintos.



Se basa en el proceso exotérmico de la hidratación del cemento, es decir el calor producido por la reacción química del cemento y el agua durante el período de fraguado que origina el efecto deseado de endurecimiento y resistencia típicos de un adecuado concreto. Parte del hecho de que dos muestras de concreto dadas alcanzarán resistencias iguales a un mismo valor de madurez, de esta forma podemos predecir la resistencia de un determinado concreto si conocemos la curva Resistencia a la Compresión – Madurez específica para esa mezcla.

#### ***2.2.4.1 Método de la madurez del concreto.***

Al modelo para hallar la madurez se le denomina comúnmente como método de la madurez del concreto y tiene origen entre los años 40 y 50 (Carino y Lew, 2001). Generalmente se calcula realizando el monitoreo de los cambios de temperatura del concreto fresco a través del tiempo, es importante precisar que cada mezcla tiene su propia relación madurez-resistencia, no obstante, una vez hallada esa relación se podrá conocer la madurez del concreto en cualquier tiempo dado sin necesidad de realizar ensayos adicionales (INACAL, 2016; ASTM International, 2019).

#### ***2.2.4.2 Temperatura del concreto.***

Con el fin de determinar la temperatura se utilizará el estándar ASTM C1064/C1064M de ASTM International (2017), que regula el método para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Pórtland. Este estándar permite verificar que el concreto se encuentre dentro del rango de temperatura óptimo durante el proceso de curado. Se debe tomar en cuenta que los agregados con dimensiones máximas nominales superiores a tres pulgadas o 76 mm,

aproximadamente, tardan hasta 20 minutos en transferir su calor al resto del concreto.

En el proceso de medición de temperatura del concreto fresco se utilizarán los siguientes instrumentos:

- **Recipientes.** Deben ser de material no absorbente y con capacidad para agregar al menos tres pulgadas o 76 mm de concreto alrededor del sensor del termómetro en cada dirección.

- **Instrumento para medir la temperatura.** El equipo debe poder registrar temperaturas en un rango entre 0 y 50°C como mínimo y una precisión de al menos  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Deberá ser sumergido tres pulgadas o 76 mm aproximadamente durante su funcionamiento.

- **Calibración del equipo medidor de temperatura.** La calibración de los equipos de medición de temperatura del concreto fresco debe realizarse al menos una vez al año. Para su calibración se compararán los registros de temperatura en el termómetro de dos mediciones con una diferencia entre sí de al menos 15°C. Esto se realizará en presencia de un líquido de densidad uniforme a fin de garantizar una distribución homogénea y estable de la temperatura.

Asimismo, existen precauciones durante las pruebas de calibraciones de estos equipos como conservar la temperatura del aceite o líquido utilizado en un rango que no exceda  $0,2 \pm ^\circ\text{C}$  de desviación y se deben sumergir por lo menos cinco minutos, tanto el dispositivo de medición de temperatura como el medidor de referencia. Durante el proceso, se deberá mantener el baño a temperatura uniforme y constante revolviendo el líquido continuamente.

- **Muestras de Concreto.** Se podrá medir la temperatura del concreto recién mezclado con un equipo de transporte, cuando el sensor del termómetro cubra como mínimo tres pulgadas o el equivalente de 76 mm de mezcla aproximadamente en cada dirección. Una vez vertido el concreto, se puede utilizar como recipiente cerrado el mismo encofrado y así obtener la medición precisa de la temperatura. Alternativamente, cuando un dispositivo de transporte no esté disponible, antes de recoger la muestra de mezcla, se humedecerá el recipiente y se procederá de acuerdo a la norma ASTM C172-17 para recolectar muestras de concreto fresco, no obstante, no hay necesidad de combinar las muestras cuando solo requiera obtener la temperatura de manera puntual. Después se verterá el concreto fresco en el recipiente y se deberá esperar que la temperatura del concreto sea estable por un periodo de 20 minutos. Esto debido a que el concreto que contiene agregados con un tamaño nominal máximo superior a tres pulgadas o 75 mm puede tardar ese periodo en transmitir su calor al resto del material.

- **Procedimiento.** La medición se realizará a los cinco minutos después de vertida la mezcla fresca. Se coloca el termómetro en el concreto fresco sumergiendo el sensor al menos tres pulgadas o su equivalente, 76 mm aproximadamente. Posteriormente, se presionará suavemente la superficie de concreto alrededor del termómetro para que la temperatura ambiente no tenga impacto en la medición. Luego, el termómetro será colocado dentro del concreto fresco durante dos minutos como mínimo, en caso de que la temperatura no sea estable se podrá extender la medición por 20 minutos hasta que se estabilice.

#### **2.2.4.3 Humedad del concreto.**

La humedad es la proporción de agua presente en una muestra en cualquiera de sus estados (vapor o líquido). Para calcular la humedad, también llamada contenido de humedad se utilizará la fórmula:

$$\%Humedad = \frac{W_o + W_{seco}}{W_{seco}}$$

Donde:

$W_o$  : El peso inicial de la muestra

$W_{seco}$  : El peso seco.

En concordancia con la norma internacional ASTM C566-19 de ASTM International (2019).

#### **2.2.4.4 Influencia de la humedad en el concreto.**

En un estado inicial la mezcla de concreto se encuentra completamente saturada de agua, cuando esta entra en contacto con el aire seco, se da lugar al fenómeno de retracción, es decir el concreto pierde volumen. Esto se debe a la gradiente de humedad entre el aire y el concreto, esta diferencia causa la evaporación gradual y continua del agua hacia el ambiente. Mientras más rápida sea esta evaporación más rápida será la pérdida de volumen del concreto (Contreras y Velazco, 2018). La contracción volumétrica rápida del concreto es una situación que se busca evitar debido a que está asociada a la generación de fisuras y consecuentemente la disminución de la resistencia. De ahí radica la importancia del proceso de curación del concreto y las consideraciones acerca de la humedad ambiental presente en el

proyecto. Un buen curado del concreto busca regular la pérdida de humedad del concreto fresco y mantenerlo en niveles adecuados para una óptima hidratación del cemento y consecuentemente, una buena resistencia.

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1 Agregados.**

Son materiales granulados inertes que componen gran parte de la composición del concreto. En la construcción se utiliza generalmente materiales granulares rodados (piedra de río) o procedentes de un proceso industrial (chancado). Los agregados no cumplen una función en el proceso de hidratación del cemento sino en la economía y estructura final del concreto. Si bien se consideran inertes, sus propiedades físicas tienen efectos en las propiedades finales del concreto. Estos se clasifican en agregado fino(arena) y grueso de acuerdo a las especificaciones del estándar ASTM C33/C33M.

### **2.3.2 Calor de hidratación.**

El concreto genera calor durante su endurecimiento como consecuencia del proceso químico a través del cual el cemento reacciona con el agua para formar una pasta endurecida y estable. El calor generado se llama calor de hidratación y su cantidad y tasa de liberación varían con el tipo de cemento. Además de esto, las dimensiones del elemento de concreto, la temperatura ambiente, la temperatura inicial del concreto, la relación agua-cemento, los aditivos y la composición, finura y cantidad del material cementante también afectan el calor de hidratación. El calor de hidratación es muy útil durante el clima frío, pues contribuye para que se logre una temperatura adecuada de curado, generalmente sin que sean necesarias otras fuentes

temporarias de calor, principalmente en elementos de concreto masivo. El concreto se debe entregar en una temperatura adecuada y se debe tener en cuenta la temperatura de las cimbras, acero de refuerzo, terreno u otro concreto sobre el cual se colará el concreto. No se debe colar el concreto sobre un concreto o terrenos congelados (Portland Cement Association, 2004, p. 287).

### **2.3.3 Cemento Portland.**

Denominado simplemente como cemento en esta investigación, es el cemento más utilizado en la fabricación de concreto, es un compuesto de alúmina, cal y sílice pulverizados, al cual se le adiciona yeso sin calcinar y agua. De acuerdo a su composición y sus propiedades se clasifican en tipos, los cuales están regulados en la NTP 334.009.

### **2.3.4 Concreto.**

Mezcla de cemento Portland, agua, agregados y aire. Es el material que se utiliza con mayor frecuencia en la construcción.

### **2.3.5 Curado del concreto.**

De acuerdo a norma ACI 308 R, el curado es el proceso de maduración y endurecimiento del concreto con cemento hidráulico, el cual toma lugar en presencia de suficiente agua y calor.

### **2.3.6 Curador químico.**

Son aditivos químicos que se adhieren a la superficie del concreto

### **2.3.7 Resistencia a la compresión.**

Es la máxima resistencia medida de una muestra de concreto sometido a una carga axial, se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$  y sirve para verificar la calidad del cemento respecto a las especificaciones del diseño del proyecto.

### **2.3.8 Granulometría.**

De acuerdo al estándar de la ASTM International C136 “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”, la granulometría de los agregados fino y grueso, comprende la superficie específica, módulo de fineza, y tamaño máximo del agregado grueso. Estas propiedades influyen fundamentalmente sobre las propiedades del concreto en estado no endurecido, sobre su densidad y sobre la economía de la mezcla.

### **2.3.9 Peso específico.**

El peso específico resulta de la división el peso del agregado entre el volumen del mismo sin tomar en cuenta los vacíos. Las normas peruanas NTP 400.021 y NTP 400.022 y el estándar ASTM C127 estipulan un procedimiento estandarizado para su cálculo en laboratorio,

### **2.3.10 Peso unitario.**

El peso unitario del agregado resulta de dividir el peso de los sólidos entre el volumen, considerando los espacios. Una vez considerado los vacíos entre los agregados, este afecta, por la forma en cómo se acomodan las partículas, convirtiéndose en un parámetro hasta cierto punto. El peso unitario se define como el método estándar para evaluado, en el término de acomodo de los agregados luego de compactarlas en un recipiente o molde metálico, apisonándolas las partículas con

25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El resultado estimado se emplea en los métodos de diseño de mezclas, para obtener las cantidades y también para hacer conversiones de proporciones en peso a proporciones en volumen. El peso unitario de agregados comunes en nuestro país varía entre 1,500 y 1,700 kg/m<sup>3</sup> (Quispe, 2017).

#### **2.3.11 Probetas.**

Las probetas son muestras cilíndricas de concreto para realizar ensayos de resistencia. Se elaboran de acuerdo al estándar internacional ASTM C 172 para tomar la muestra de la mezcla de concreto y el estándar ASTM C 31M para llevar a cabo el curado del concreto de las probetas. El ensayo de probetas se realiza de acuerdo al estándar ASTM C39M.

#### **2.3.12 Relación A/C.**

Parámetro que indica la relación de agua y cemento presente en la mezcla de concreto, influye en la resistencia a la compresión final del concreto debido al proceso químico de hidratación del cemento.

#### **2.3.13 Madurez del concreto.**

Indica cuál es el progreso del curado del concreto y se define por la relación entre la temperatura, el tiempo y el incremento de la resistencia a la compresión (Carino y Lew, 2001).

#### **2.3.14 Método de curado.**

Es el procedimiento o pasos que se utilizan para conservar, generar, acelerar o regular el proceso químico de hidratación del cemento. Su objetivo general es mantener el concreto saturado de agua controlando la evaporación de agua con el



fin de permitir que el concreto llegue a la resistencia a la compresión deseada. Los métodos utilizados en la actualidad son múltiples y cada año se experimentan con nuevos procesos, no obstante, los más utilizados son curado con agua, curado con curadores químicos de membrana, con polietileno (plástico), entre otros.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de la investigación**

La presente investigación es aplicada, ya que se busca hallar los métodos de curación más efectivos para lograr la mejor resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa, para este efecto se realizará un análisis multivariable respecto a los aditivos, capas aplicadas, días y temperatura del concreto durante el proceso de curación mediante pruebas de resistencia a la compresión.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

La presente investigación es experimental cuantitativa, puesto que se busca definir el método de curación más adecuado manipulando variables que pueden ser cuantificables como aditivos ( $L/m^2$ ), número de capas, y días de curación.

### 3.2.1 Análisis de datos.

Los ensayos se realizarán de acuerdo a los manuales y estándares nacionales e internacionales como NTP y ATSM y el método de análisis de los resultados a utilizar será cuantitativo mediante el uso de estadística descriptiva. Se hará uso de las siguientes variables estadísticas:

- Media
- Mediana
- Moda
- T-student, para la comprobación de las hipótesis, definiendo previamente una hipótesis nula  $H_0$ , según cada caso.

**Para la hipótesis general**, se compararán todas las muestras donde se hayan utilizado aditivos con las muestras a las cuales no se les aplicó aditivos para la curación. Esto para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Para la hipótesis específica 1**, se compararán los resultados de las muestras donde se aplicó una capa de aditivo con las muestras a las cuales se les aplicó dos capas de aditivo. Esto para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Para la hipótesis específica 2**, se compararán los resultados de resistencia para las muestras donde se aplicó dos capas de aditivos con las muestras a las cuales no se les aplicó curador. Esto para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Para la hipótesis específica 3**, se utilizará el método de la madurez del concreto con las temperaturas monitoreadas para cada tipo de curación para

los días 3, 7, 14, 21 y 28.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población.**

La población es el concreto de 21 MPa utilizado en la ciudad de Moquegua.

#### **3.3.2 Muestra.**

##### ***3.3.2.1 Criterios para la selección de la muestra.***

- Curador Químico. Debido a que esta investigación se enmarca en las condiciones de temperatura y humedad específicos al clima de la ciudad de Moquegua, se seleccionaron los aditivos químicos más comercializados como son Sika Antisol, Chema Membranil Vista y Sika Cem Curador. De esta manera los resultados obtenidos podrán ser replicables y de utilidad para la elaboración de concreto de 21MPa en obras y proyectos de infraestructura que se desarrollen en esta localidad.
- Tipo de Curado. Para evaluar el efecto de la aplicación de curador químico en la resistencia a la compresión del concreto se establecieron muestras para cada curador químico a evaluar, así como muestras control sin curar y por inmersión.
  - Utilizando Sika Antisol: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Utilizando Chema Membranil: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Utilizando Sika Cem Curador: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Sin curar (Prueba de control): Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Por inmersión (Prueba de control): Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.

- Número de capas. Para evaluar el efecto del número de capas de aditivos en la resistencia a la compresión del concreto se establecieron muestras en las cuales se aplicará una y dos capas de curador químico.
  - Utilizando dos capas de Sika Antisol: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Utilizando dos capas Chema Membranil: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
  - Utilizando dos capas SikaCem Curador: Tres muestras para los días 3, 7, 14 y 28.
- Temperatura. Para medir el efecto del método de curado en la temperatura del concreto se estableció una muestra para cada aditivo, utilizando una y dos capas, además como control se establecerán muestras sin curar y por inmersión.
  - Utilizando una y dos capas de Sika Antisol (Una muestra para cada caso).
  - Utilizando una y dos capas Chema Membranil (Una muestra para cada caso).
  - Utilizando una y dos capas SikaCem Curador (Una muestra para cada caso).
  - Sin curar (Una muestra).
  - Por inmersión (Una muestra).

### **3.3.2.2 Tamaño de la muestra.**

El tamaño de la muestra se obtiene de acuerdo a la siguiente fórmula, tomando en cuenta que no se conoce el tamaño de la población:

$$n_0 = \frac{z^2 * P * Q}{d^2}$$

Donde:

P, Q : Al no saber los valores de la desviación estándar se asume un valor 0.5 para cada uno.

Z : El valor de Z para el nivel de confianza 95% es 1.96.

d : El margen de error para esta muestra será 8.66%. Se tomó en cuenta que los análisis multilaboratorio pueden tener hasta 14 % de variación con respecto a la media de acuerdo a norma ATSM C39/C39M, por tanto 8.66% está dentro de lo esperado.

$$n_0 = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.0866^2} = 128$$

En tal sentido la muestra está compuesta por 128 probetas de concreto (cilindros) de 150x300mm elaboradas bajo el estándar internacional ASTM C31 / C31M. Para determinar la distribución de probetas para pruebas de resistencia a la compresión se utilizó la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Determinación de la distribución de probetas*

<b>Tipo de curado</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 21</b>	<b>Día 28</b>
SIKA ANTISOL (1 CAPA)	3	3	3	3	3
SIKA ANTISOL (2 CAPAS)	3	3	3	3	3
CHEMA MEMBRANIL (1 CAPA)	3	3	3	3	3
CHEMA MEMBRANIL (2 CAPAS)	3	3	3	3	3
SIKA CEM CURADOR (1 CAPA)	3	3	3	3	3
SIKA CEM CURADOR (2 CAPAS)	3	3	3	3	3
SIN CURAR	3	3	3	3	3
POR INMERSION	3	3	3	3	3
SUMA	24	24	24	24	24
TOTAL			120		

El número de muestras por cada caso (tres muestras) obedece a la norma ACI 318-19 (American Concrete Institute, 2019), que estipula que los ensayos de resistencia a la compresión deben ser el promedio de las resistencias de al menos dos cilindros para tamaños de 150x300mm. Por su parte la distribución de probetas para el control de temperatura se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Determinación de la muestra de probetas para el control de la temperatura del concreto*

<b>Tipo de curado</b>	<b>N° Probetas</b>
SIKA ANTISOL (1 CAPA)	1
SIKA ANTISOL (2 CAPAS)	1
CHEMA MEMBRANIL (1 CAPA)	1
CHEMA MEMBRANIL (2 CAPAS)	1
SIKA CEM CURADOR (1 CAPA)	1
SIKA CEM CURADOR (2 CAPAS)	1
SIN CURAR	1
POR INMERSION	1
SUMA	8

*Nota.* Estas probetas servirán para monitorear la temperatura del concreto durante el proceso de curación. Al ser un ensayo no destructivo (a diferencia de la resistencia a la compresión), se estableció una probeta por cada tipo.

**Figura 7**

*Instalación de Termómetros Digitales para el Monitoreo de Temperatura durante el Curado del Concreto.*



**Figura 8**

*Aplicación del Curador Químico SikaCem Curador en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto*





**Figura 9**

*Aplicación del Curador Químico Membranil Vista en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto*



**Figura 10**

*Aplicación del Curador Químico Sika Antisol S en la Probetas para el Monitoreo de la Temperatura durante el Curado del Concreto*



**Figura 11**

*Probetas de concreto con Aplicación de Curador Químico durante el Proceso de Curado*



**Figura 12**

*Probetas de concreto con Aplicación de Curador Químico Antisol S 1 y 2 capas, y sin curar durante el Proceso de Curado*



### Figura 13

*Proceso de Curado de las Probetas Patrón para el Análisis del Curado por Inmersión*



### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán los siguientes materiales, instrumentos y programas.

#### 3.4.1 Materiales.

- **Cemento:** Se utilizó cemento Portland Puzolánico Yura IP de alta durabilidad, por ser uno los cementos más comercializados en la ciudad de Moquegua. Esto asegurará que los resultados sean relevantes y replicables en obras y proyectos de infraestructura que utilicen concreto de 21MPa en esta localidad.
- **Agregados:** Se utilizó arena gruesa de río y piedra chancada de tamaño máximo  $\frac{3}{4}$  pulgada.

- Agua: Se empleó agua potable.
- Curador químico: Se evaluaron tres de los productos más utilizados en la ciudad de Moquegua, Sika Antisol S, Chema Membranil Vista y SikaCem Curador.

#### **3.4.2 Instrumentos para la elaboración de probetas.**

- Juego de Tamices: Para determinar el tamaño de las partículas de los agregados.
- Moldes para probetas de concreto: Serán moldes cilíndricos de dimensiones 150 mm de diámetro y 300 mm de altura de acuerdo a la norma internacional ASTM C31/C31M.
- Cono de Abrams: Instrumento metálico que se utiliza en el ensayo que se le realiza al concreto en su estado fresco para medir su consistencia ("fluidez" o "plasticidad" del concreto fresco).

#### **Figura 14**

*Proceso de Elaboración de Probetas de concreto*



### 3.4.3 Datalogger.

#### Figura 15

*Datalogger para registro de información de temperatura de las muestras en campo*



*Nota.* Vista en campo de uno de los datalogger utilizados en la investigación, se puede apreciar que se encuentra conectado a los termómetros.

Mecanismo de admisión de información, su función es recibir datos de una fuente, almacenarlos y mostrar la información en el lugar del proyecto. A través de este se logra obtener la información recolectada por los instrumentos de medición en campo (termómetros digitales) y transmitirlos a un computador.

#### 3.4.4 Termómetro digital.

Para el monitoreo de la temperatura del concreto durante el proceso de fraguado se utilizó termómetro de indicación digital, conectado a Datalogger.

**Figura 16**

*Fotografía del termómetro en funcionamiento en campo.*



### **3.4.5 Prensa Hidráulica de Concreto.**

Los ensayos de prueba a la resistencia a la compresión de las probetas se realizaron con Prensa Hidráulica de marca FORNEY modelo LA-3626-220 de capacidad máxima de 5000 Kgf de procedencia americana.

**Figura 17**

*Ensayo de resistencia a la compresión con prensa hidráulica.*



#### **3.4.6 Balanza: Capacidad de 30 Kg.**

Para el control de peso de las probetas se utilizó balanza electrónica de marca OHAUS modelo R21PE30 ZH de capacidad máxima de 30 Kg.

#### **3.4.7 Programas de Cómputo.**

- MS Office para el registro, tabulación y gráfico de los datos.
- SPSS para el análisis de los resultados y del registro de temperatura de los termómetros digitales.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Presentación de resultados por variables**

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó una y dos capas de curadores químicos Sika Antisol S, Chema y SikaCem. Así también se presentan los resultados de las pruebas de resistencia de las muestras curadas por inmersión y sin curación.

Finalmente se muestran los resultados del monitoreo de la temperatura del concreto, los cálculos de la madurez del concreto a través de la función Nurse-Saul, las curvas de correlación entre la resistencia y el índice de madurez, y su relación con la aplicación de curadores químicos. Para cada caso la evaluación de la resistencia se realizó a los 3, 7, 14, 21 y 28 días desde la elaboración de los cilindros de concreto.



#### 4.1.1 Resistencia a la Compresión y Curadores Químicos.

##### 4.1.1.1 Resistencia a la compresión de muestras con Sika Antisol S.

En la Tabla 8 se resumen los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó una sola capa de curador químico Sika Antisol S. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

**Tabla 8**

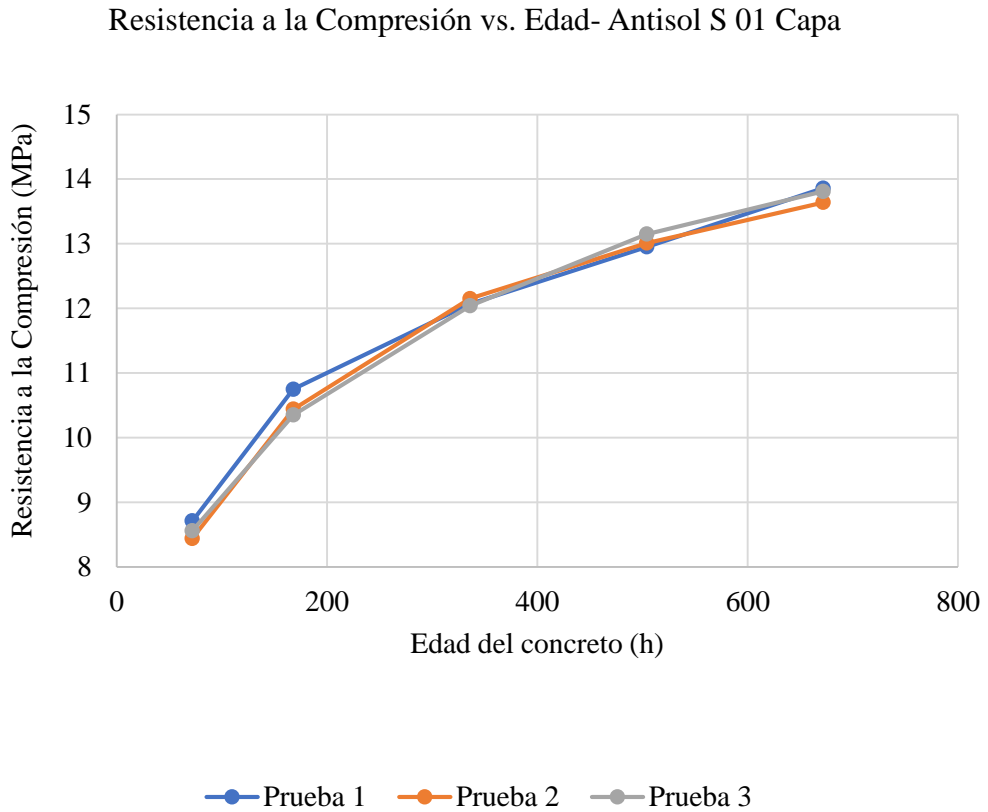
*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una capa de curador químico Sika Antisol S*

Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	8.71	8.44	8.56	8.57
7	168	10.75	10.44	10.35	10.51
14	336	12.07	12.15	12.04	12.09
21	504	12.95	13.01	13.15	13.04
28	672	13.86	13.64	13.81	13.77

Por su parte la Figura 18 muestra el progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó una sola capa de curador químico Sika Antisol S.

**Figura 18**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico Sika Antisol S*



La Tabla 9 muestra los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico Sika Antisol S. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

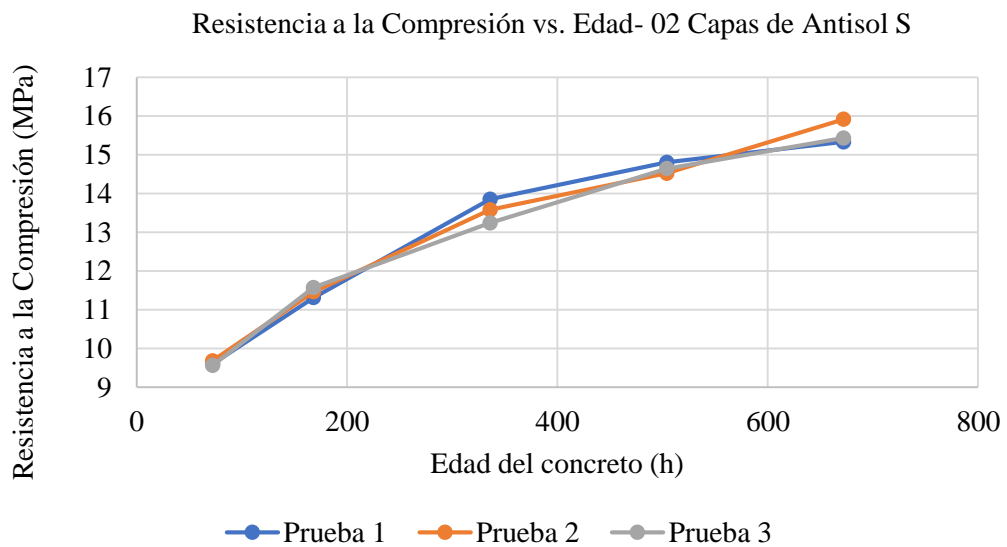
**Tabla 9**

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con Aplicación de dos capas de curador químico Sika Antisol S*

Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	9.60	9.68	9.56	9.61
7	168	11.31	11.46	11.57	11.45
14	336	13.85	13.58	13.24	13.56
21	504	14.80	14.52	14.64	14.65
28	672	15.33	15.91	15.43	15.56

**Figura 19**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Sika Antisol S*



*Nota.* Progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico Sika Antisol S.

#### ***4.1.1.2 Resistencia a la compresión de muestras con Chema Membranil.***

En la Tabla 10 se resumen los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó solo una capa de curador químico Chema Membranil. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

**Tabla 10**

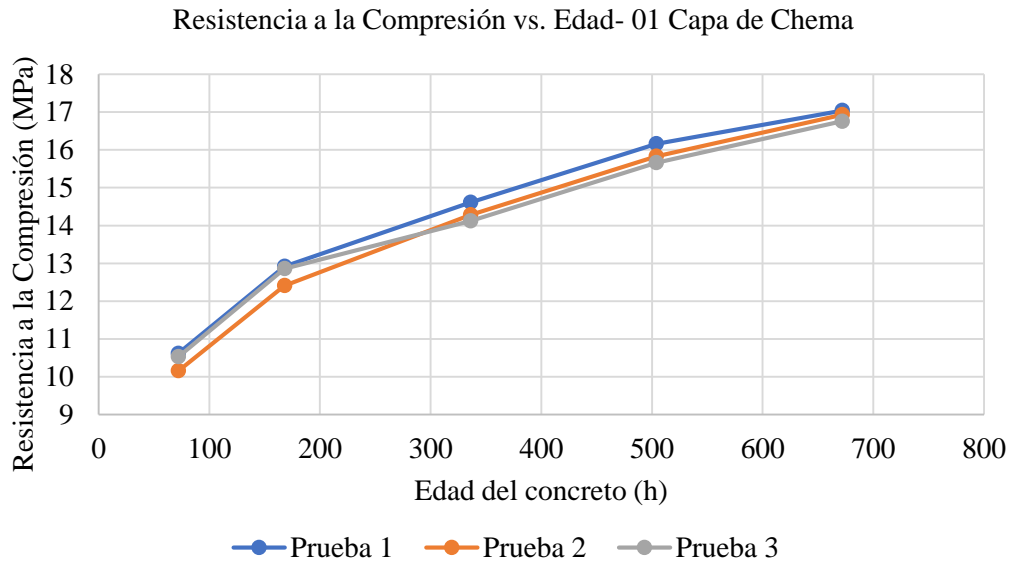
*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una sola capa de curador químico Chema Membranil*

<b>Día</b>	<b>Edad (h)</b>	<b>Resistencia a la Compresión (MPa)</b>			
		<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Promedio</b>
3	72	10.62	10.16	10.53	10.44
7	168	12.92	12.41	12.86	12.73
14	336	14.61	14.28	14.12	14.34
21	504	16.16	15.83	15.66	15.88
28	672	17.04	16.93	16.76	16.91

Por su parte, la Figura 20 señala el progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó solo una capa de curador químico Chema Membranil.

**Figura 20**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico Chema Membranil*



**Tabla 11**

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de dos capas de curador químico Chema Membranil*

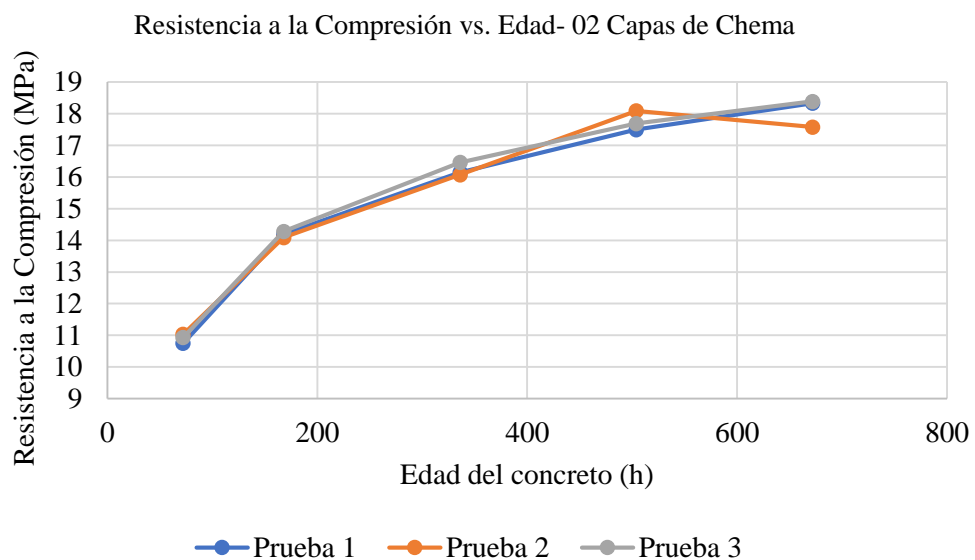
Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	10.75	11.03	10.93	10.90
7	168	14.19	14.09	14.28	14.19
14	336	16.15	16.07	16.46	16.23
21	504	17.50	18.09	17.69	17.76
28	672	18.33	17.58	18.39	18.10

La Tabla 11 resume los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico Chema Membranil. El resultado de las pruebas corresponde al

promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

### Figura 21

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Chema Membranil*



*Nota.* Progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico Chema Membranil.

#### **4.1.1.3 Resistencia a la compresión de muestras con SikaCem Curador.**

En la Tabla 12 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó solo una capa de curador químico SikaCem Curador. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

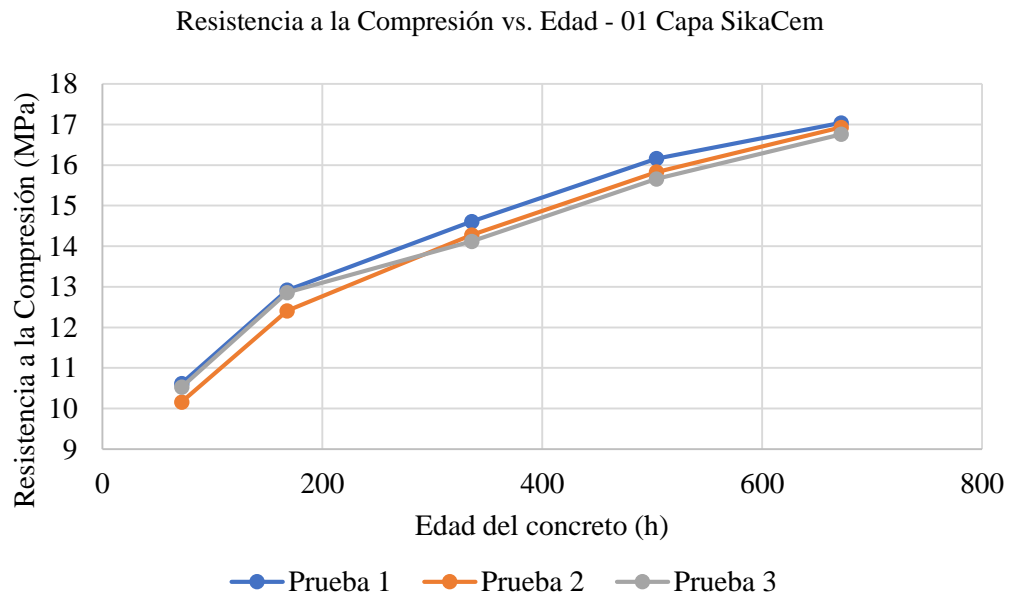
**Tabla 12**

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con aplicación de una sola capa de curador químico SikaCem Curador*

Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	9.35	9.39	9.21	9.32
7	168	11.40	11.55	11.29	11.41
14	336	13.55	13.86	13.24	13.55
21	504	14.76	14.96	14.30	14.67
28	672	15.68	15.57	15.76	15.67

**Figura 22**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con una sola aplicación de curador químico SikaCem Curador*



La Figura 22 muestra la evolución a través del tiempo en horas de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó una sola capa de curador químico SikaCem Curador.

En la Tabla 13 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico SikaCem Curador. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras.

**Tabla 13**

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras con Aplicación de dos capas de curador químico SikaCem Curador*

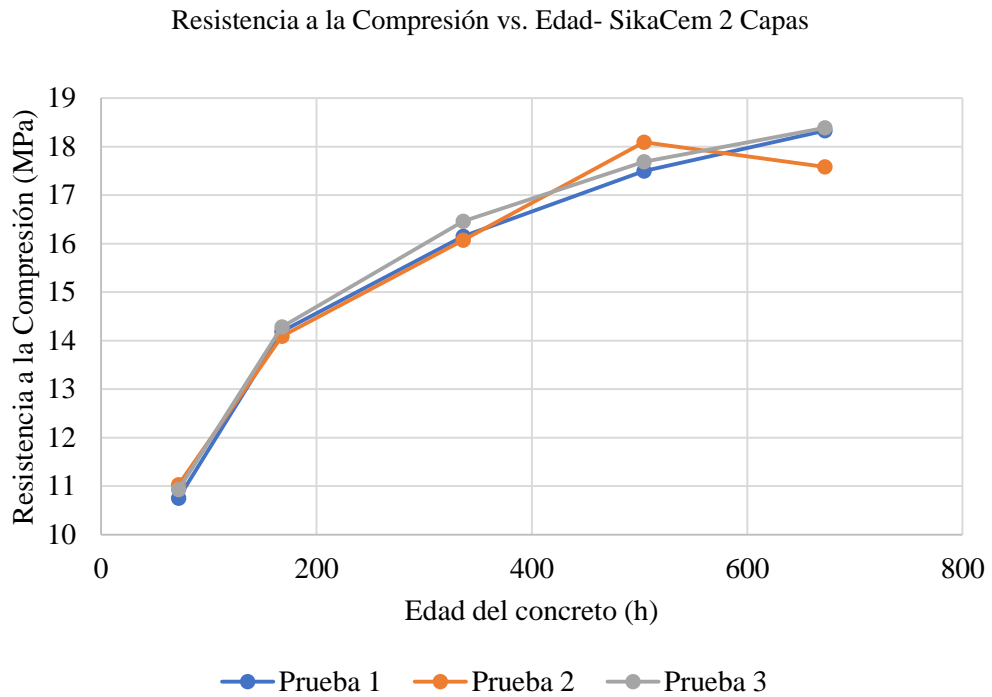
Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	10.06	9.86	9.80	9.91
7	168	12.12	11.53	11.44	11.70
14	336	13.16	13.35	13.44	13.32
21	504	14.56	14.85	14.79	14.73
28	672	15.44	15.46	15.82	15.57

En la Figura 23 se muestra el progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales se les aplicó dos capas de curador químico Sika Antisol S.



**Figura 23**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras con dos aplicaciones de curador químico Sika Antisol S*



#### ***4.1.1.4 Resistencia a la compresión de muestras curadas por inmersión.***

En la Tabla 14 se resumen los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas por inmersión. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras. La resistencia a la compresión máxima alcanzada fue de 23.7 MPa a 28 días.

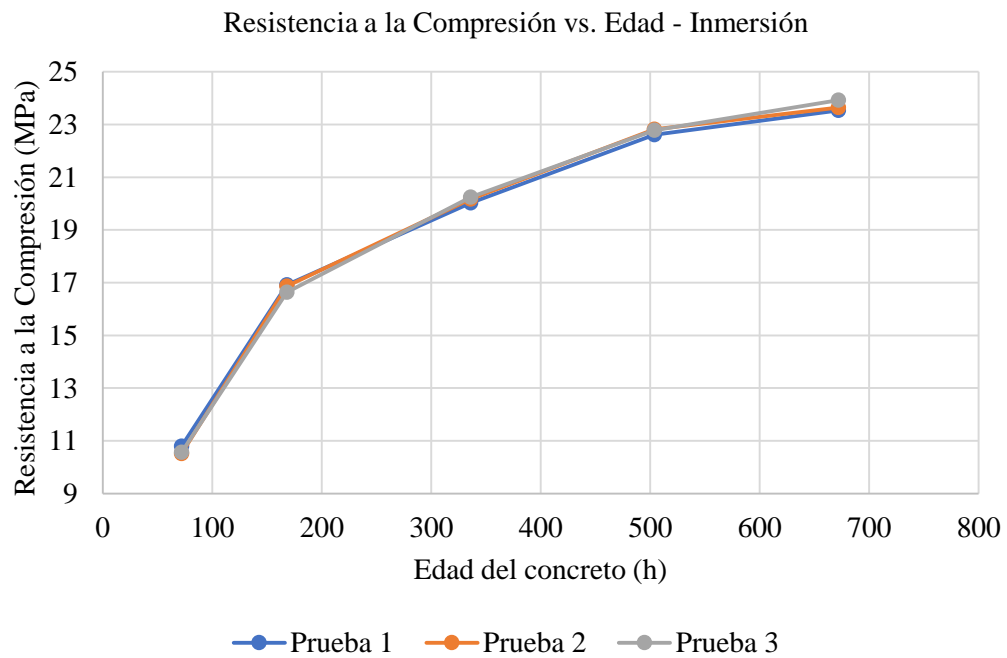
**Tabla 14**

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras curadas por inmersión*

Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	10.80	10.52	10.56	10.63
7	168	16.92	16.87	16.64	16.81
14	336	20.03	20.17	20.24	20.15
21	504	22.61	22.82	22.78	22.74
28	672	23.53	23.65	23.92	23.70

**Figura 24**

Evolución de la resistencia a la compresión para muestras curadas por inmersión.



*Nota.* Progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm curadas por inmersión, para los días 5, 7, 14, 21 y 28.

#### **4.1.1.5 Resistencia a la compresión de muestras sin curar.**

En la Tabla 15 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las cuales no se les aplicó ningún método de curación. El resultado de las pruebas corresponde al promedio del resultado de tres muestras de acuerdo a la norma ACI 318-19 para cilindros de 150x300 mm. Las pruebas se realizaron a los 3, 7, 14, 21 y 28 días después de la elaboración de las muestras. La resistencia a la compresión máxima alcanzada fue tan solo 10.62 MPa a 28 días.

**Tabla 15**

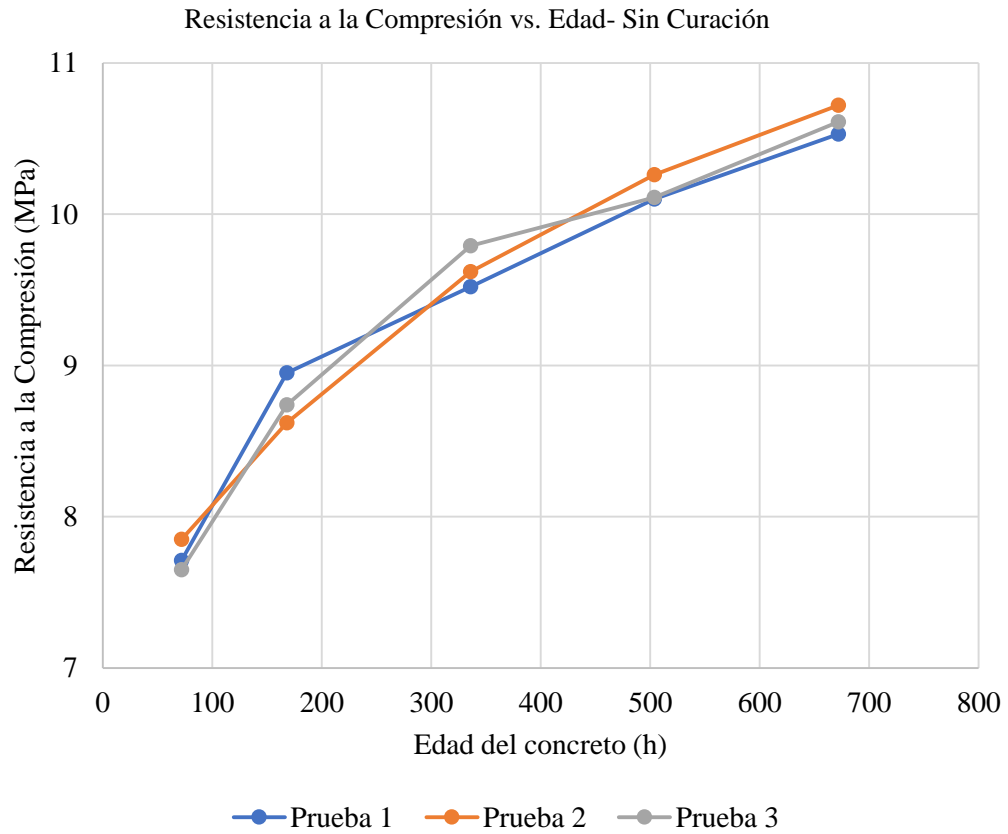
*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión en muestras sin curar*

Día	Edad (h)	Resistencia a la Compresión (MPa)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	7.71	7.85	7.65	7.74
7	168	8.95	8.62	8.74	8.77
14	336	9.52	9.62	9.79	9.64
21	504	10.10	10.26	10.11	10.16
28	672	10.53	10.72	10.61	10.62

La Figura 25 muestra el progreso de la resistencia a la compresión en MPa de las 15 muestras de concreto de 150x300 mm a las cuales no se les aplicó ningún método de curación.

**Figura 25**

*Evolución de la resistencia a la compresión para muestras sin curar*



#### **4.1.2 Madurez del concreto y curadores químicos.**

##### ***4.1.2.1 Madurez del Concreto en muestras con Sika Antisol S.***

En la Tabla 16 se presenta el Cuadro resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) el cual se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con la resistencia a la compresión.

**Tabla 16**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico Sika Antisol S*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0	29.75	-	-	-	0.00
1	24	23.25	24	23.38	737.25	737.25
3	72	28.5	48	25.88	1,722.00	2,459.25
7	168	31.5	96	30.00	3,840.00	6,299.25
14	336	32	168	31.75	7,014.00	13,313.25
21	504	34.75	168	33.38	7,287.00	20,600.25
28	672	32	168	33.38	7,287.00	27,887.25

**Tabla 17**

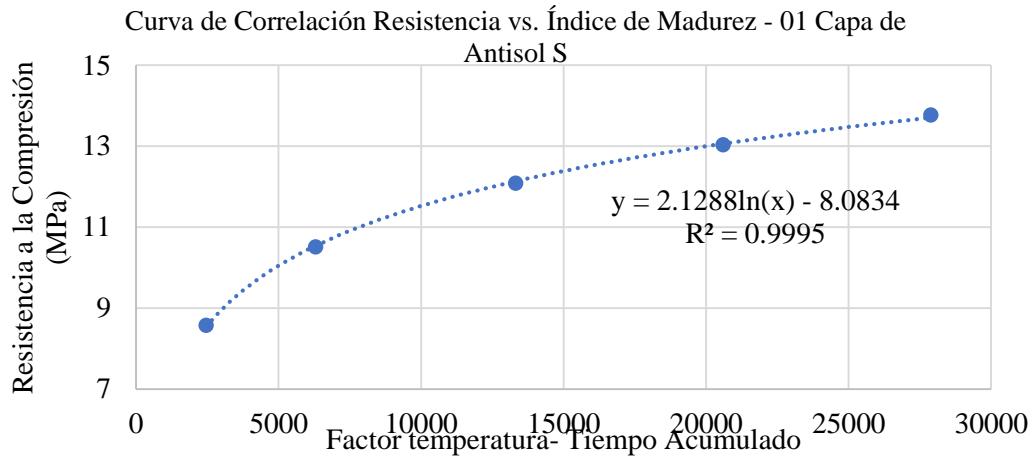
Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de Sika Antisol S

Día	Edad (h)	Factor Temp.- Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2,459.25	8.71	8.44	8.56	8.57
7	168	6,299.25	10.75	10.44	10.35	10.51
14	336	13,313.25	12.07	12.15	12.04	12.09
21	504	20,600.25	12.95	13.01	13.15	13.04
28	672	27,887.25	13.86	13.64	13.81	13.77

*Nota.* Cuadro resumen de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con una sola aplicación de curador químico Sika Antisol S.

**Figura 26**

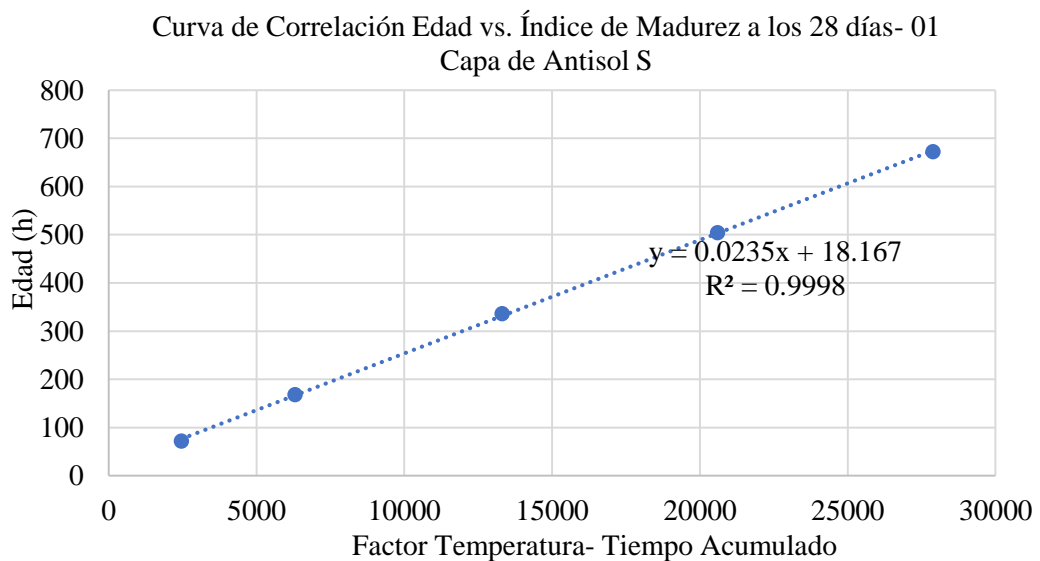
*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S*



*Nota.* La curva de correlación nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con una capa de Sika Antisol S, de acuerdo a la función  $y = 2.1288\ln(x) - 8.0834$ . El valor de correlación es de 0.9994.

**Figura 27**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S*



La curva de correlación de la Figura 27 nos indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con una sola capa de Sika Antisol S, de acuerdo a la función  $y = 0.0235x + 18.167$ .

**Tabla 18**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico Sika Antisol S*

<b>Día</b>	<b>Edad (h)</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Incremento de Tiempo (h)</b>	<b>Temp. Promedio (°C)</b>	<b>Factor Temp. - Tiempo Incremento</b>	<b>Factor Temp. Tiempo Acumulado</b>
0	0.0	29.75	-	-	-	0.00
1	24.0	23.25	0.5	24.13	17.06	737.88
3	72.0	29.75	48	26.50	1,752.00	2,489.88
7	168.0	32.75	96	31.25	3,960.00	6,449.88
14	336.0	33.5	168	33.13	7,245.00	13,694.88
21	504.0	36.25	168	34.88	7,539.00	21,233.88
28	672.0	32.25	168	34.25	7,434.00	28,667.88

*Nota.* Cuadro resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) el cual se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

En la Tabla 19 se muestra el cuadro resumen de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con dos aplicaciones de curador químico Sika Antisol S.

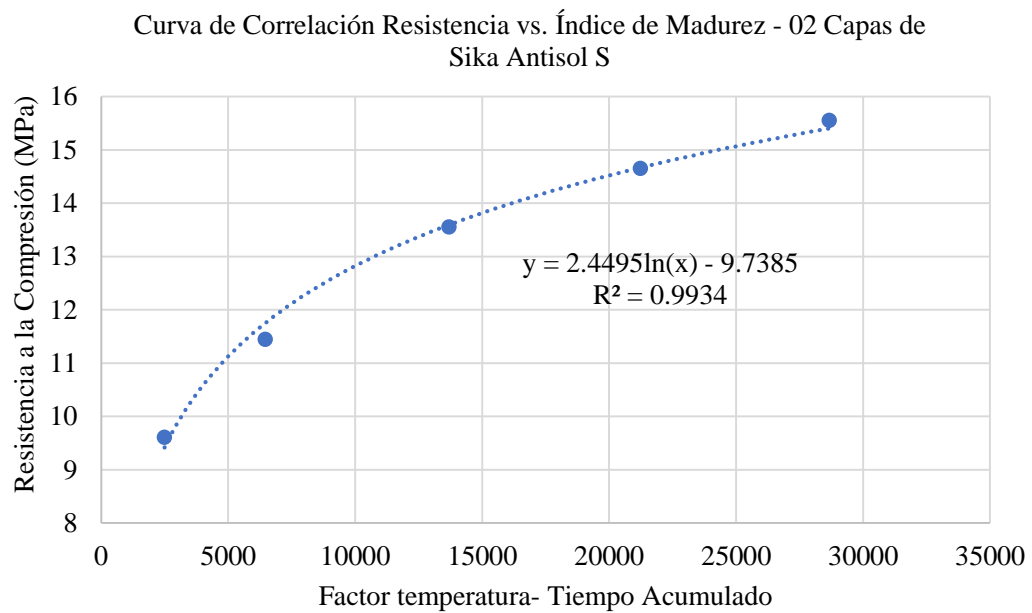
**Tabla 19**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de Sika Antisol S*

Día	Edad (h)	Factor Temp.-Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2489.88	9.60	9.68	9.56	9.61
7	168	6449.88	11.31	11.46	11.57	11.45
14	336	13694.88	13.85	13.58	13.24	13.56
21	504	21233.88	14.80	14.52	14.64	14.65
28	672	28667.88	15.33	15.91	15.43	15.56

**Figura 28**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Sika Antisol S*

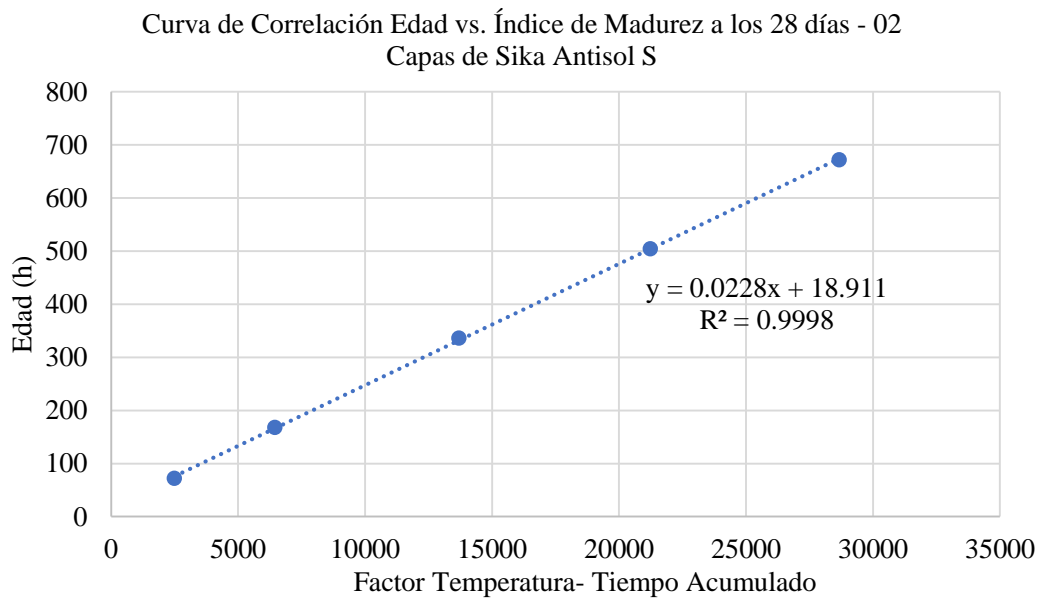




La curva de correlación de la Figura 29 nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de Sika Antisol S, de acuerdo a la función  $y = 2.4495\ln(x) - 9.7385$ . El valor de correlación es de 0.9934.

**Figura 29**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Sika Antisol S*



*Nota.* La curva de correlación nos indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de Sika Antisol S, de acuerdo a la función  $y = 0.0228x + 18.911$ .

**4.1.2.2 Madurez del Concreto en muestras con Chema Membranil.**

La Tabla 20 muestra el resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) para concreto con una sola capa de curador Chema Membranil. La madurez se calculó a través del método de la madurez del concreto

con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

**Tabla 20**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico Chema Membranil*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	28.75	-	-	-	0.00
1	24.0	23.25	24	22.88	733.88	733.88
3	72.0	34.5	48	28.88	1,866.00	2,599.88
7	168.0	35.25	96	34.88	4,308.00	6,907.88
14	336.0	37.75	168	36.50	7,812.00	14,719.88
21	504.0	41	168	39.38	8,295.00	23,014.88
28	672.0	38.25	168	39.63	8,337.00	31,351.88

**Tabla 21**

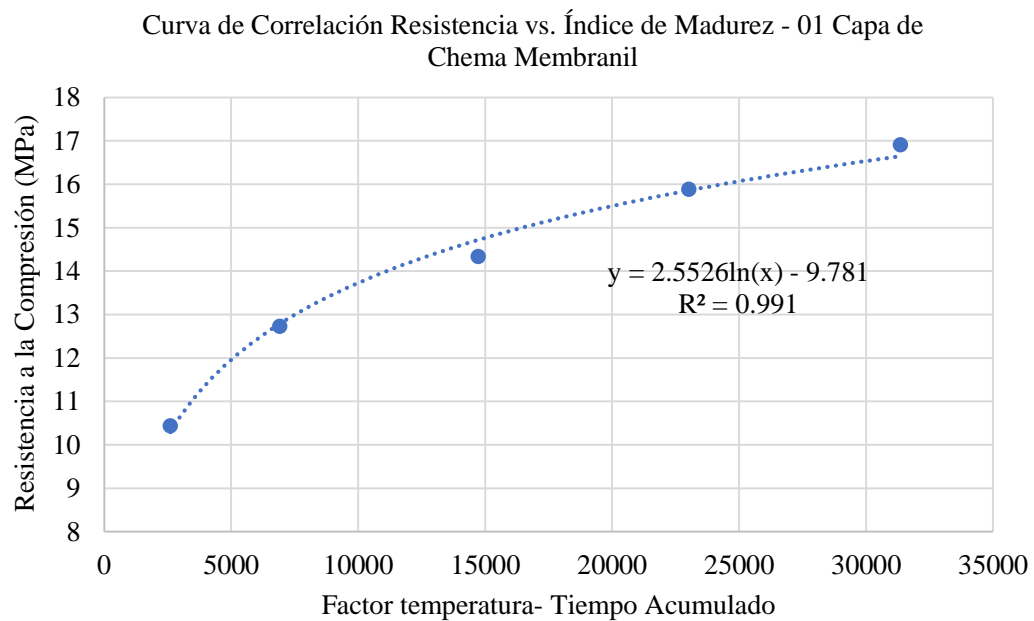
Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de Chema Membranil

Día	Edad (h)	Factor Temp.- Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2599.88	10.62	10.16	10.53	10.44
7	168	6907.88	12.92	12.41	12.86	12.73
14	336	14719.88	14.61	14.28	14.12	14.34
21	504	23014.88	16.16	15.83	15.66	15.88
28	672	31351.88	17.04	16.93	16.76	16.91

La Tabla 21 muestra los valores de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con una sola aplicación de curador químico Chema Membranil.

**Figura 30**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil*

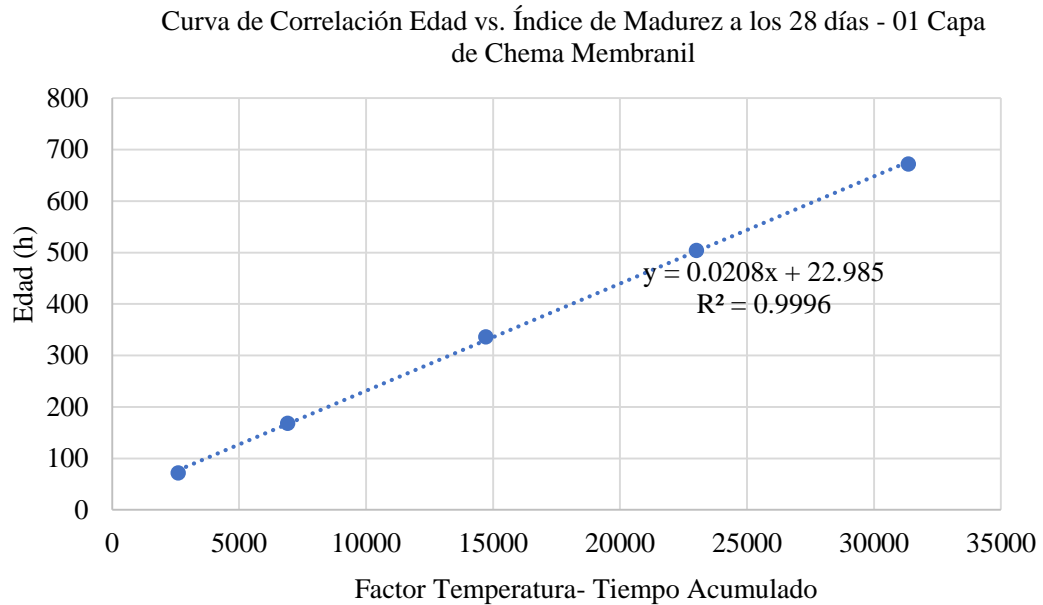


*Nota.* La curva de correlación nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con una sola capa de Chema Membranil, de acuerdo a la función  $y = 2.5526\ln(x) - 9.781$ . El valor de correlación es de 0.991.

En la Figura 31 se grafica la curva de correlación que indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con una sola capa de Chema Membranil, de acuerdo a la función  $y = 0.0208x + 22.985$ .

**Figura 31**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Chema Membranil*



**Tabla 22**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico Chema Membranil*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	28.00	-	-	-	0.00
1	24.0	23.25	0.5	23.38	16.69	735.19
3	72.0	35.25	48	29.25	1,884.00	2,619.19
7	168.0	35.75	96	35.50	4,368.00	6,987.19
14	336.0	38	168	36.88	7,875.00	14,862.19
21	504.0	41.75	168	39.88	8,379.00	23,241.19
28	672.0	39	168	40.38	8,463.00	31,704.19

En la Tabla 22 se muestran los valores del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil. La madurez se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

**Tabla 23**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de Chema Membranil*

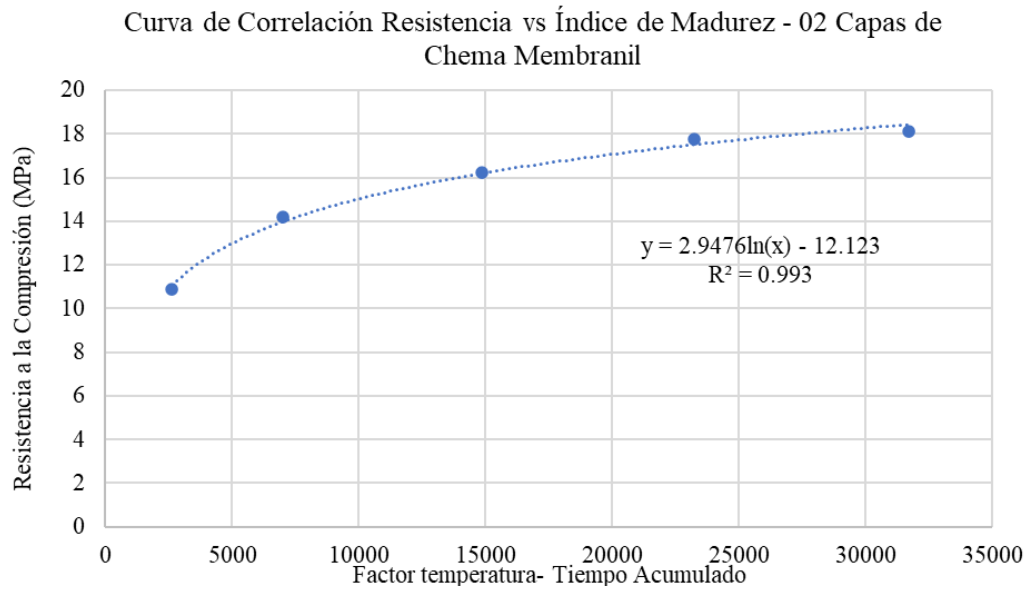
Día	Edad (h)	Factor Temp.-Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2619.19	10.75	11.03	10.93	10.90
7	168	6987.19	14.19	14.09	14.28	14.19
14	336	14862.19	16.15	16.07	16.46	16.23
21	504	23241.19	17.50	18.09	17.69	17.76
28	672	31704.19	18.33	17.58	18.39	18.10

*Nota.* Cuadro resumen de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con dos aplicaciones de Chema Membranil.

La Figura 32 señala la curva de correlación que indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de Chema Membranil, de acuerdo a la función  $y = 2.9476 \ln(x) - 12.123$ . El valor de correlación es de 0.993.

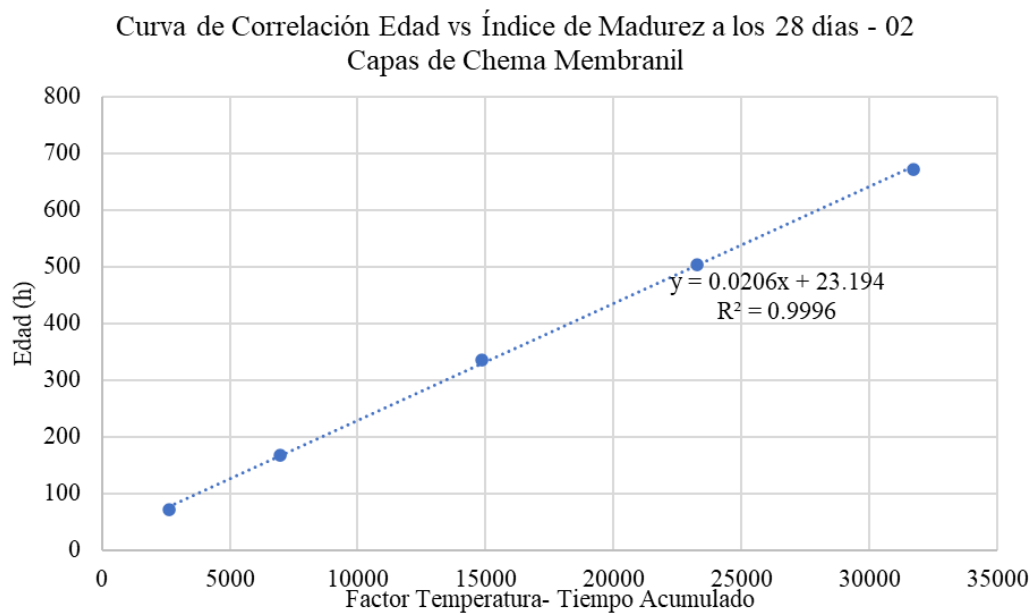
**Figura 32**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil*



**Figura 33**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de Chema Membranil*



En la Figura 33 se graficó la curva de correlación que indica la edad del concreto “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de Chema Membranil, de acuerdo a la función  $y = 0.0206x + 23.194$ , con un índice de correlación de 0.9996

#### 4.1.2.3 Madurez del Concreto en muestras con SikaCem Curador.

**Tabla 24**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con una sola capa de curador químico SikaCem Curador*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	29.50	-	-	-	0.00
1	24.0	23.5	0.5	23.63	755.13	755.13
3	72.0	35	48	29.25	1,884.00	2,639.13
7	168.0	34.75	96	34.88	4,308.00	6,947.13
14	336.0	37.75	168	36.25	7,770.00	14,717.13
21	504.0	41	168	39.38	8,295.00	23,012.13
28	672.0	37.75	168	39.38	8,295.00	31,307.13

*Nota.* Cuadro resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) el cual se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

En la Tabla 25 se resume la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con una sola aplicación de curador químico SikaCem Curador.

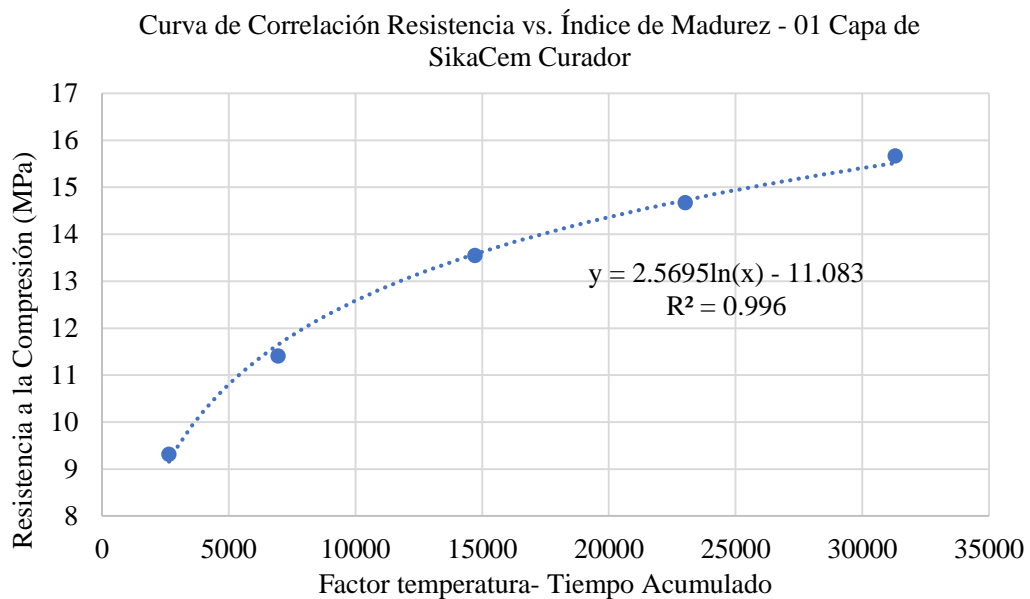
**Tabla 25**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con una sola aplicación de SikaCem Curador*

Día	Edad (h)	Factor Temp.-Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2639.13	9.35	9.39	9.21	9.32
7	168	6947.13	11.40	11.55	11.29	11.41
14	336	14717.13	13.55	13.86	13.24	13.55
21	504	23012.13	14.76	14.96	14.30	14.67
28	672	31307.13	15.68	15.57	15.76	15.67

**Figura 34**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de SikaCem Curador*

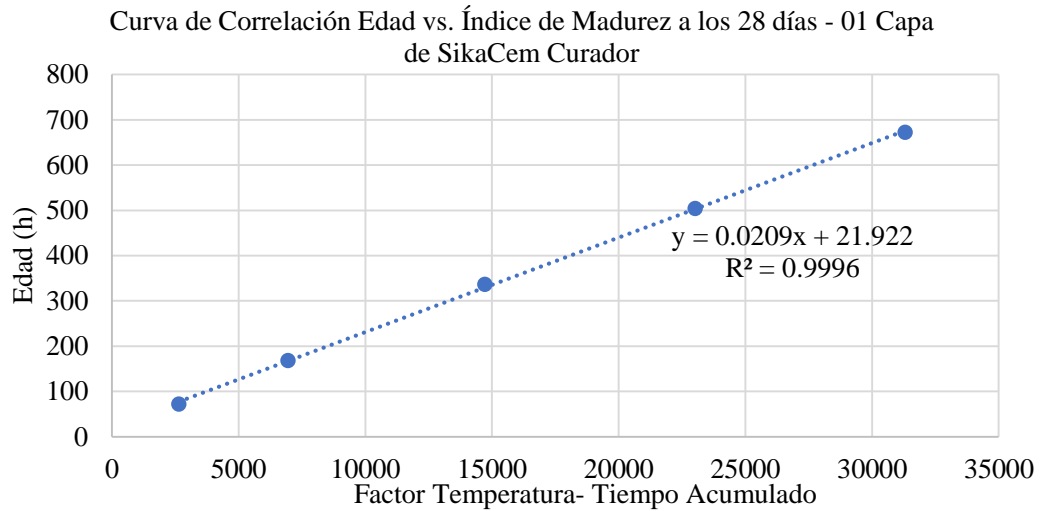


*Nota.* La curva de correlación nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con una capa de SikaCem Curador, de acuerdo a la función  $y = 2.5695\ln(x) - 11.083$ . El valor de correlación es de 0.996.



**Figura 35**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de SikaCem Curador*



*Nota.* La curva de correlación nos indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con una sola capa de SikaCem Curador, de acuerdo a la función  $y = 0.0209x + 21.922$ .

**Tabla 26**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto con dos capas de curador químico SikaCem Curador*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	29.50	-	-	-	0.00
1	24.0	24.25	0.5	24.88	17.44	752.56
3	72.0	37.75	48	31.00	1,968.00	2,720.56
7	168.0	38.5	96	38.13	4,620.00	7,340.56
14	336.0	41.75	168	40.13	8,421.00	15,761.56
21	504.0	44.5	168	43.13	8,925.00	24,686.56
28	672.0	41	168	42.75	8,862.00	33,548.56

La Tabla 26 resume el cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) de las muestras de concreto de 150x300 mm con dos capas de SikaCem Curador. La madurez se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

**Tabla 27**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras con dos capas de SikaCem Curador*

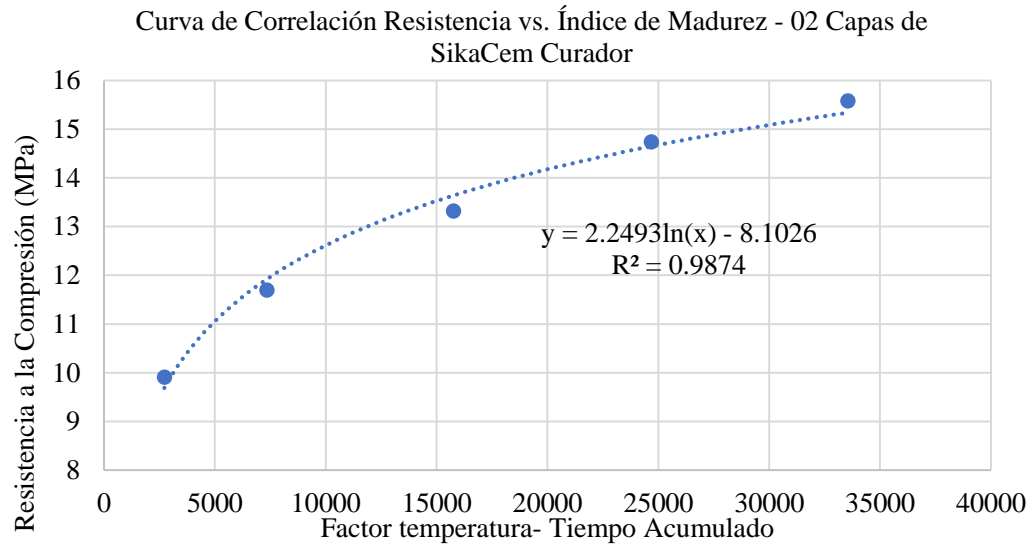
Día	Edad (h)	Factor Temp.-Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2720.56	10.06	9.86	9.80	9.91
7	168	7340.56	12.12	11.53	11.44	11.70
14	336	15761.56	13.16	13.35	13.44	13.32
21	504	24686.56	14.56	14.85	14.79	14.73
28	672	33548.56	15.44	15.46	15.82	15.57

*Nota.* Cuadro resumen de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm con dos aplicaciones de curador químico SikaCem Curador.

En la Figura 36 se muestra la curva de correlación que señala la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de SikaCem Curador, de acuerdo a la función  $y = 2.2493\ln(x) - 8.1026$ . El valor de correlación es de 0.9874.

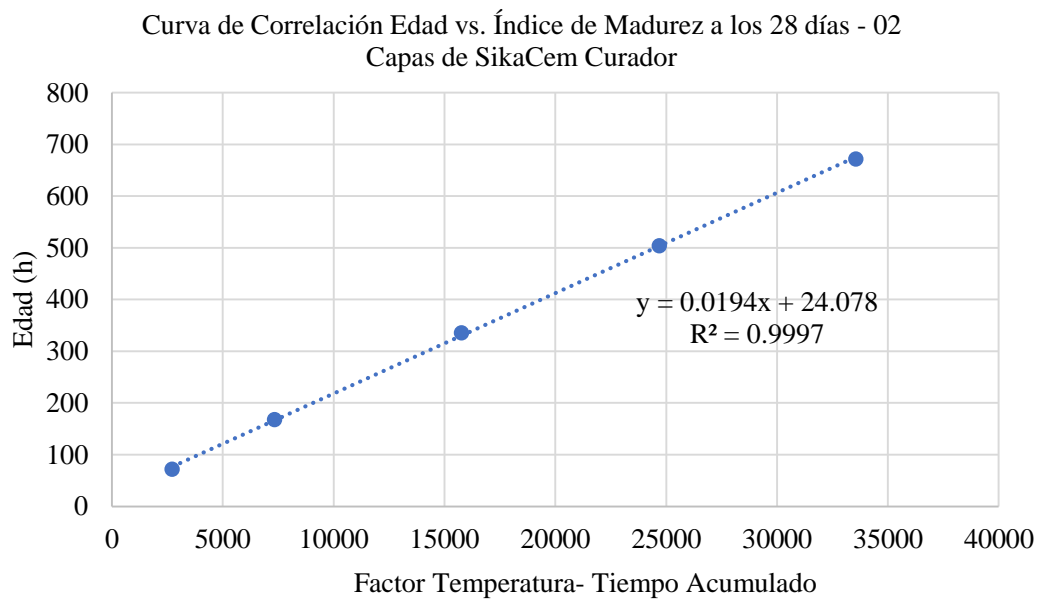
**Figura 36**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de curador químico SikaCem Curador*



**Figura 37**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con dos capas de SikaCem Curador*



La Figura 37 grafica la curva de correlación nos indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado con dos capas de SikaCem Curador, de acuerdo a la función  $y = 0.0194x + 24.078$ .

#### 4.1.2.4 Madurez del Concreto en muestras curadas por inmersión.

**Tabla 28**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto curadas por inmersión*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	30.00	-	-	-	0.00
1	24.0	26	0.5	26.00	18.00	747.75
3	72.0	25	48	25.50	1,704.00	2,451.75
7	168.0	25	96	25.00	3,360.00	5,811.75
14	336.0	25	168	25.00	5,880.00	11,691.75
21	504.0	25	168	25.00	5,880.00	17,571.75
28	672.0	24	168	24.50	5,796.00	23,367.75

*Nota.* Cuadro resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) en muestras de concreto curadas por inmersión. La madurez se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

En la Tabla 29 se listan los valores de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm curadas por inmersión.

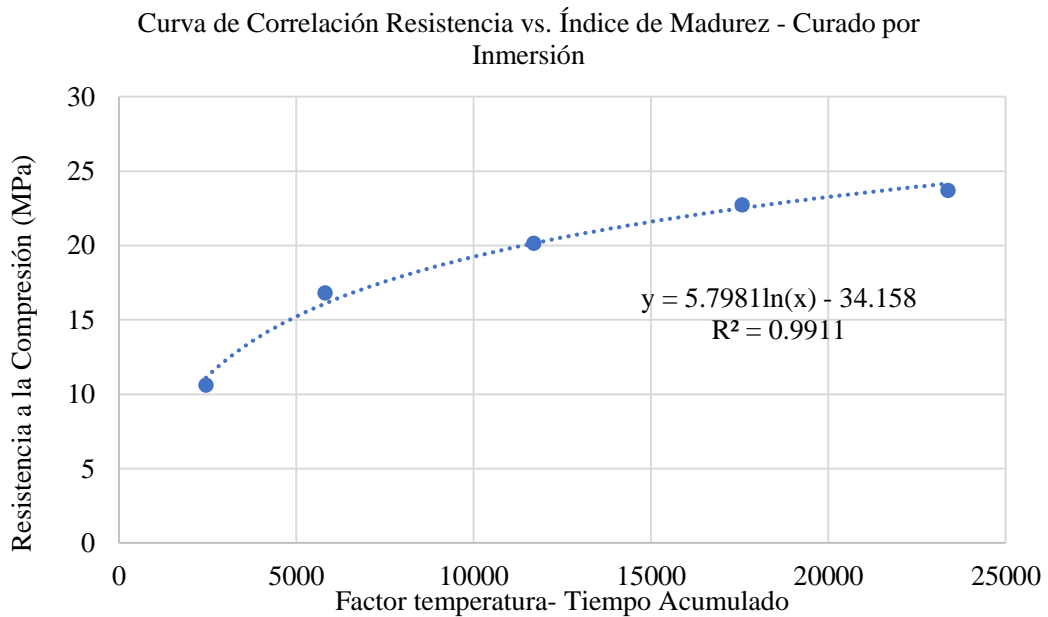
**Tabla 29**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras curadas por inmersión*

Día	Edad (h)	Factor Temp.- Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2451.75	10.80	10.52	10.56	10.63
7	168	5811.75	16.92	16.87	16.64	16.81
14	336	11691.75	20.03	20.17	20.24	20.15
21	504	17571.75	22.61	22.82	22.78	22.74
28	672	23367.75	23.53	23.65	23.92	23.70

**Figura 38**

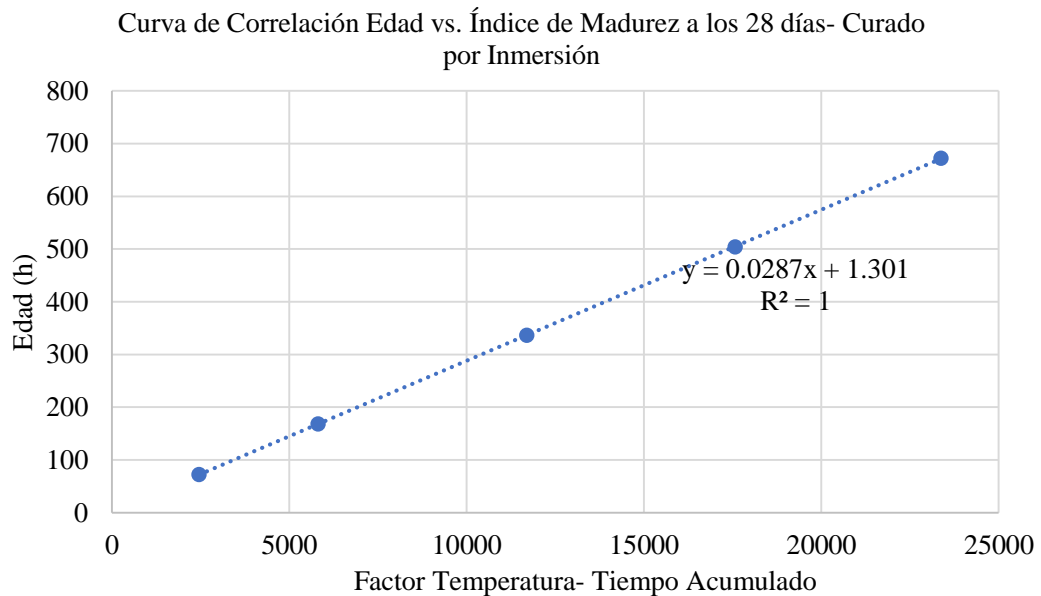
*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto curadas por inmersión*



*Nota.* La curva de correlación nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto curado por inmersión, de acuerdo a la función  $y = 5.7981\ln(x) - 34.158$ . El valor de correlación es de 0.9911.

**Figura 39**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto curadas por inmersión*



*Nota.* La curva de correlación nos indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto curado por inmersión, de acuerdo a la función  $y=0.0287x + 1.301$ .

#### **4.1.2.5 Madurez del Concreto en muestras sin curar.**

La Tabla 30 constituye el cuadro resumen del cálculo del índice de madurez (Factor temperatura-Tiempo) del concreto sin curar. La madurez se calculó a través del método de la madurez del concreto con la función Nurse-Saul que utiliza la temperatura y el tiempo, para luego establecer una relación con resistencia a la compresión.

**Tabla 30**

*Cálculo del índice de madurez para muestras de concreto sin curar*

Día	Edad (h)	Temp. (°C)	Incremento de Tiempo (h)	Temp. Promedio (°C)	Factor Temp. - Tiempo Incremento	Factor Temp. Tiempo Acumulado
0	0.0	29.25	-	-	-	0.00
1	24.0	23.25	0.5	23.50	16.75	733.63
3	72.0	29.5	48	26.38	1,746.00	2,479.63
7	168.0	32.25	96	30.88	3,924.00	6,403.63
14	336.0	34.25	168	33.25	7,266.00	13,669.63
21	504.0	36.75	168	35.50	7,644.00	21,313.63
28	672.0	32	168	34.38	7,455.00	28,768.63

**Tabla 31**

*Índice de la madurez y resistencia a la compresión de muestras sin curar*

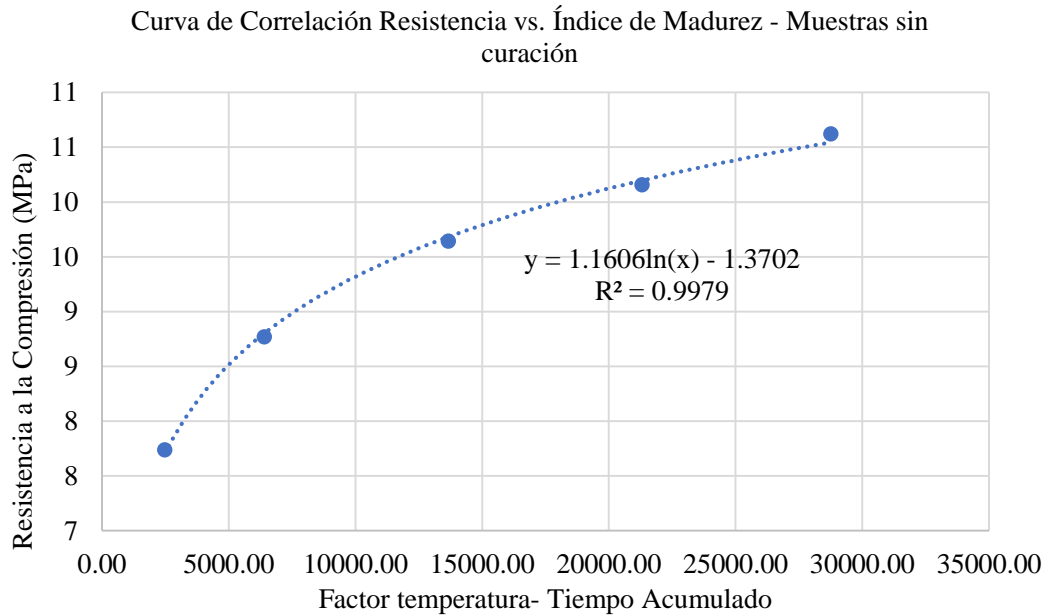
Día	Edad (h)	Factor Temp.- Tiempo Acumulado	Resistencia a la Compresión (MPa)			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
3	72	2479.63	7.71	7.85	7.65	7.74
7	168	6403.63	8.95	8.62	8.74	8.77
14	336	13669.63	9.52	9.62	9.79	9.64
21	504	21313.63	10.10	10.26	10.11	10.16
28	672	28768.63	10.53	10.72	10.61	10.62

*Nota.* Cuadro resumen de la resistencia a la compresión y el índice de la madurez del concreto a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de la elaboración de las muestras de concreto de 150x300 mm sin curar.

En la Figura 40 se encuentra graficada la curva de correlación nos indica la resistencia a la compresión “y” para un valor de madurez “x” del concreto sin curación, de acuerdo a la función  $y = 1.1606 \ln(x) - 1.3702$ . El valor de correlación es de 0.9979.

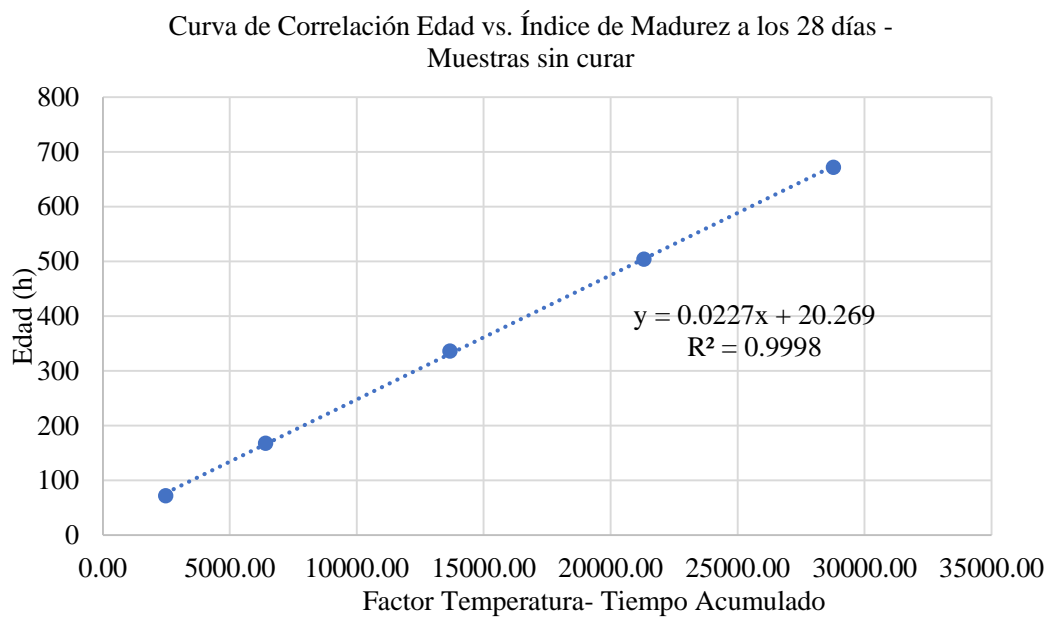
**Figura 40**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto sin curación*



**Figura 41**

*Curva de correlación de la resistencia a la compresión y el índice de madurez de muestras de concreto con una sola capa de Sika Antisol S*





En la Figura 41 se encuentra graficada la curva de correlación que indica la edad “y” en horas para un valor de madurez “x” del concreto sin curación, de acuerdo a la función  $y = 0.0227x + 20.269$ .

## 4.2 Contrastación de hipótesis

### 4.2.1 Hipótesis general.

Para la hipótesis general se planteó la Hipótesis Nula  $H_0$  y la Hipótesis Alternativa  $H_1$  de la siguiente manera:

$H_0$ : La aplicación de métodos de curación con curadores químicos no tiene efecto sobre los valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

$H_1$ : La aplicación de métodos de curación con curadores químicos produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

#### *4.2.1.1 Comparación de resultados de la aplicación de los curadores químicos sobre la resistencia a la compresión del concreto.*

**Tabla 32**

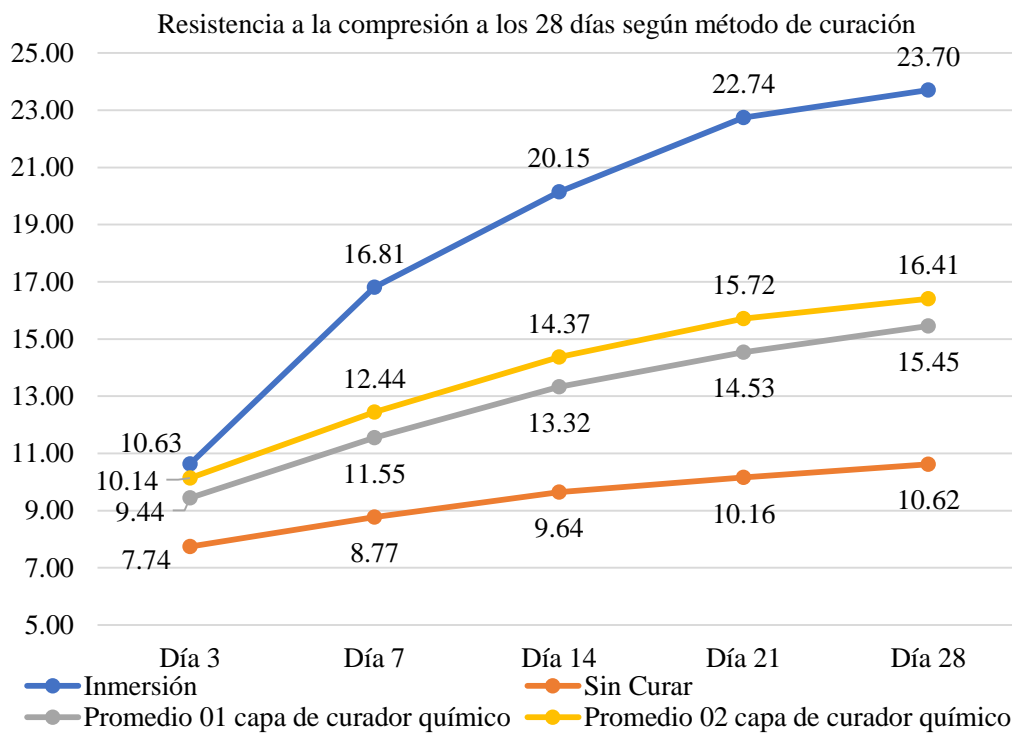
*Resistencia a la compresión del concreto según método de curación*

Método de Curación	Resistencia a la Compresión (MPa)				
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Inmersión	10.63	16.81	20.15	22.74	23.70
Sin Curar	7.74	8.77	9.64	10.16	10.62
Sika Antisol S - 01 capa	8.57	10.51	12.09	13.04	13.77
Sika Antisol S - 02 capas	9.61	11.45	13.56	14.65	15.56
Chema Membranil - 01 capa	10.44	12.73	14.34	15.88	16.91
Chema Membranil - 02 capas	10.90	14.19	16.23	17.76	18.10
SikaCem Curador - 01 capa	9.32	11.41	13.55	14.67	15.67
SikaCem Curador - 02 capas	9.91	11.70	13.32	14.73	15.57

La Tabla 32 ofrece un resumen de los resultados de pruebas de la resistencia a la compresión de acuerdo al método de curado utilizado para cada caso y para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Figura 42**

*Gráfico comparativo de valores de resistencia a la compresión del concreto de acuerdo al método de curación y día.*



La Figura 42 muestra la distribución de los resultados de resistencia a la compresión del concreto para los días 3, 7, 14, 21 y 28, de acuerdo al método de curado y el número de capas de curador químico utilizado. La mayoría de los valores de resistencia a la compresión de las muestras con 01 o 02 capas de curador químico se encuentra por encima de los valores de resistencia de las probetas sin curar y por debajo de las resistencias de las probetas curadas por inmersión.

De acuerdo a la Tabla 32 y Figura 42 podemos observar lo siguiente:

- El menor valor de resistencia a la compresión corresponde a la prueba para los cilindros de concreto sin curar a los 3 días con 7.74 MPa, es decir 36.9% del valor de resistencia objetivo (21 MPa).

- El mayor valor de resistencia a la compresión corresponde a la prueba para los cilindros de concretos curados por inmersión a los 28 días con 23.70 MPa, es decir 130.5% del valor de resistencia objetivo (21 MPa).

- Todos los resultados de pruebas de resistencia a la compresión del concreto al cual se aplicó una o dos capas de curadores químicos fueron menores que las probetas curadas por inmersión y mayores que las probetas sin curación. No obstante, existe una excepción, la prueba de resistencia del concreto curado con dos capas de Chema Membranil (10.90 MPa) resultó ligeramente mayor que la muestra de concreto curada por inmersión (10.63 MPa).

- Ninguna de las pruebas de concreto con curadores químicos llegó al valor de resistencia a la compresión objetivo de 21 MPa a los 28 días.

- La aplicación de una o dos capas de curadores químicos incrementó el valor de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto con un incremento máximo de 70,4% (18,1 MPa) y mínimo de 29,7% (13,77 MPa) respecto a las muestras de concreto sin curación (10,62 MPa).

#### 4.2.2 Primera hipótesis específica.

Para la hipótesis general se planteó la Hipótesis Nula  $H_0$  y la Hipótesis Alternativa  $H_1$  de la siguiente manera:

$H_0$  : La aplicación de una capa de curador químico no tiene efecto sobre la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

$H_1$  : La aplicación de una capa de curador químico produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

##### 4.2.2.1 Comparación de resultados de la aplicación de 01 capa de curadores químicos sobre la resistencia a la compresión del concreto.

**Tabla 33**

*Resistencia a la compresión del concreto con una capa de aditivo según tipo*

Método de Curación	Resistencia a la Compresión (MPa)				
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Inmersión	10.63	16.81	20.15	22.74	23.70
Sin Curar	7.74	8.77	9.64	10.16	10.62
Sika Antisol S - 01 capa	8.57	10.51	12.09	13.04	13.77
Chema Membranil - 01 capa	10.44	12.73	14.34	15.88	16.91
SikaCem Curador - 01 capa	9.32	11.41	13.55	14.67	15.67

*Nota.* Cuadro comparativo de los resultados de pruebas de la resistencia a la compresión de acuerdo al método de curado, por inmersión, 01 capa de curador químico, y sin curar, para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Tabla 34**

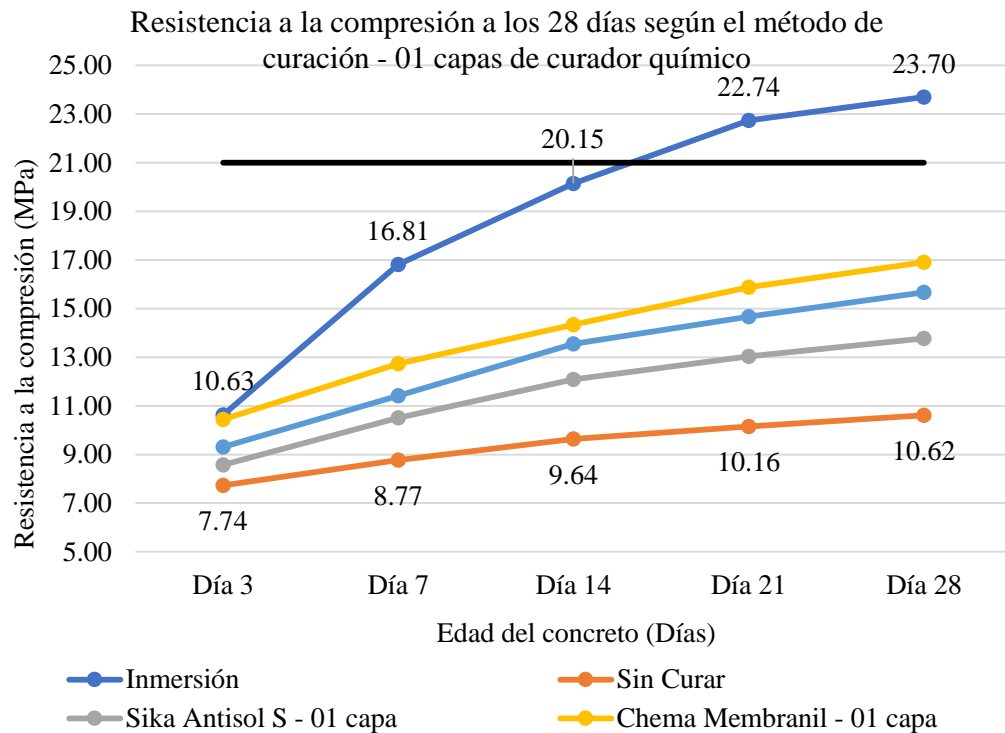
*Resistencia a la compresión del concreto según método de curación considerando el promedio de resistencias del concreto de una capa de aditivo*

Método de Curación	Resistencia a la Compresión (MPa)				
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Inmersión	10.63	16.81	20.15	22.74	23.70
Sin Curar	7.74	8.77	9.64	10.16	10.62
Promedio 01 capa de curador químico	9.44	11.55	13.32	14.53	15.45

*Nota.* Cuadro comparativo de los resultados de resistencia hasta los 28 días considerando el promedio de las tres pruebas resistencias de cilindros de concreto con 01 capa de curador químico.

**Figura 43**

*Gráfico comparativo de valores de resistencia a la compresión del concreto de acuerdo al método de curación y día.*



La Figura 43 muestra la distribución de los resultados de resistencia a la compresión del concreto con una capa de curador químico para los días 3, 7, 14, 21 y 28, de acuerdo al método de curado. Todos los valores de resistencia a la compresión se encuentran por encima de los valores de resistencia de las probetas sin curar y por debajo de las resistencias de las probetas curadas por inmersión. Es así que de la Tabla 34 y Figura 43 podemos realizar las siguientes observaciones:

- El curador químico con mayor resistencia a la compresión a los 28 días es Chema Membranil con un valor de 16,91 MPa, mientras que el curador químico con menor resistencia a la compresión es Sika Antisol S (13,77 MPa).

- Todos los valores de resistencia fueron menores que los valores de resistencia del concreto curado por inmersión y mayores que los valores de resistencia del concreto sin curar.

- A los 28 días, Sika Antisol S alcanzó 65.6% de la resistencia a la compresión objetivo de 21 MPa, mientras que Chema Membranil y SikaCem alcanzaron 80.5% y 74.6%, respectivamente.

- En promedio, la aplicación de 01 capa de curador químico incrementó la resistencia a la compresión a los 28 días en 45.5% (15.45 MPa) con respecto al concreto sin curar (10,62 MPa).

- La resistencia a la compresión del concreto con una capa de aditivo no llegó al valor objetivo de 21 MPa a los 28 días.

#### **4.2.3 Segunda hipótesis específica.**

Para la hipótesis general se planteó la Hipótesis Nula  $H_0$  y la Hipótesis Alternativa  $H_1$  de la siguiente manera:

$H_0$  : La aplicación de dos capas de curador químico no tiene efecto sobre la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

$H_1$  : La aplicación de dos capas de curador químico produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa.

**4.2.3.1 Comparación de resultados de la aplicación de dos capas de curadores químicos sobre la resistencia a la compresión del concreto.**

**Tabla 35**

*Resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curador químico según tipo*

Método de Curación	Resistencia a la Compresión (MPa)				
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Inmersión	10.63	16.81	20.15	22.74	23.70
Sin Curar	7.74	8.77	9.64	10.16	10.62
Sika Antisol S - 02 capas	9.61	11.45	13.56	14.65	15.56
Chema Membranil - 02 capas	10.90	14.19	16.23	17.76	18.10
SikaCem Curador - 02 capas	9.91	11.70	13.32	14.73	15.57

*Nota.* Cuadro comparativo de los resultados de pruebas de la resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curador químico, para cada uno de los días 3, 7, 14, 21 y 28.

La Tabla 36 ofrece un cuadro comparativo con los resultados de pruebas de la resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curador químico, para los días 3, 7, 14, 21 y 28.

**Tabla 36**

*Resistencia a la compresión del concreto del promedio de las resistencias de concreto con dos capas de curador químico*

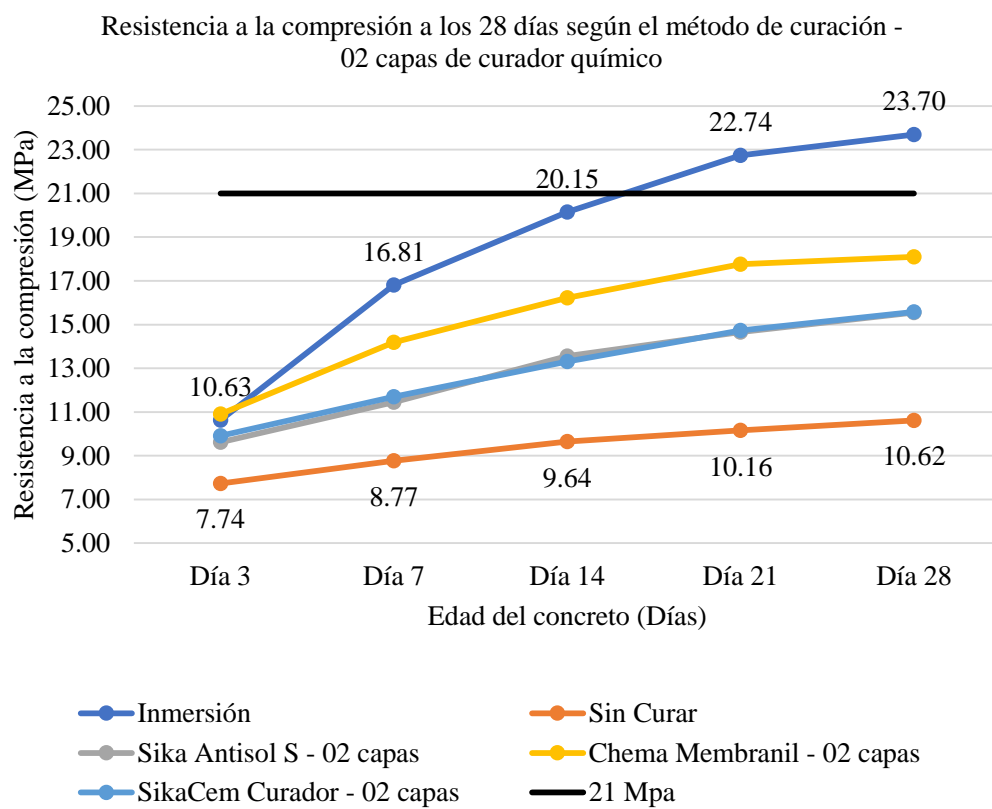
Método de Curación	Resistencia a la Compresión (MPa)				
	Día 3	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
Inmersión	10.63	16.81	20.15	22.74	23.70



Sin Curar	7.74	8.77	9.64	10.16	10.62
Promedio 02 capa de curador químico	10.1				
	4	12.44	14.37	15.72	16.41

**Figura 44**

*Valores de resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curadores a los 28 días.*

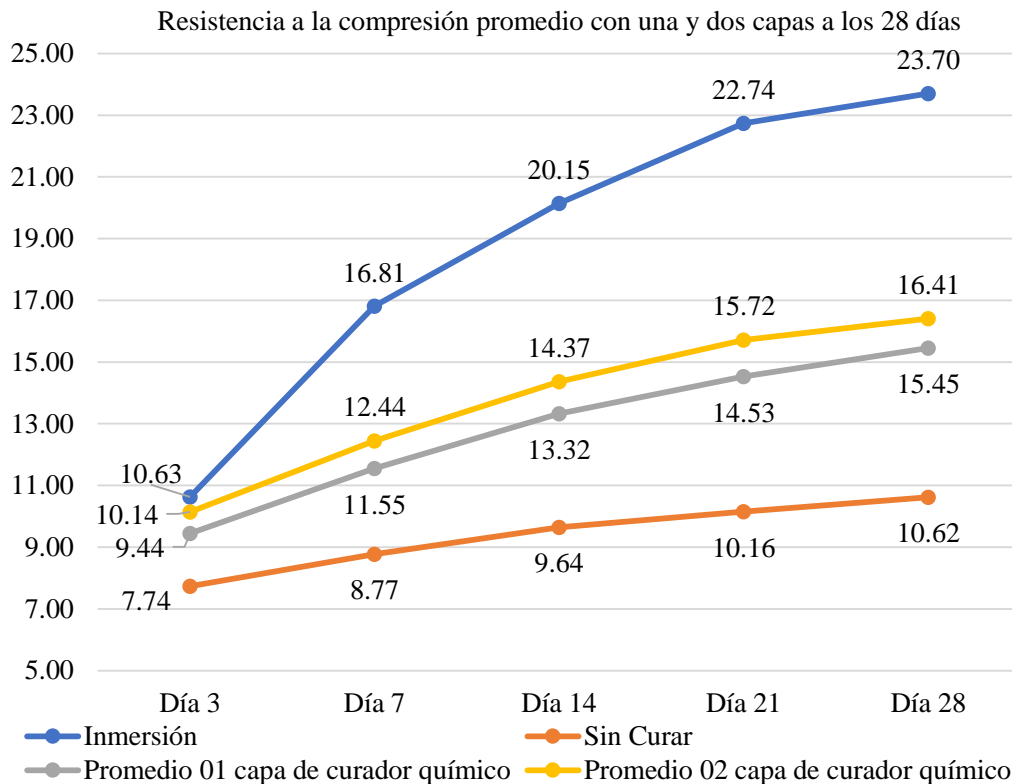


La Figura 44 muestra la distribución de los resultados de resistencia a la compresión del concreto con dos capas de curador químico para los días 3, 7, 14, 21 y 28, de acuerdo al método de curado y para cada curador químico, Sika Antisol S, Chema Membranil y SikaCem Curador. La mayoría de los valores de resistencia a la compresión se encuentran por encima de los valores de resistencia de las

probetas sin curar y por debajo de las resistencias de las probetas curadas por inmersión.

**Figura 45**

*Valores de resistencia a la compresión del concreto del promedio de resistencias con una y dos capas a los 28 días.*



La Figura 45 muestra la distribución de los resultados de resistencia a la compresión del concreto promedio con una y dos capas de curador químico para los días 3, 7, 14, 21 y 28, de acuerdo al método de curado. Todos los valores de resistencia a la compresión se encuentran por encima de los valores de resistencia de las probetas sin curar y por debajo de las resistencias de las probetas curadas por inmersión.

De las Tablas 35 y 36, y Figuras 44 y 45 podemos observar lo siguiente:

- Todos los valores de resistencia a la compresión para concreto con una y dos capas de curador químico se encuentran por debajo de los valores del concreto curado por inmersión y por encima de los valores de resistencia del concreto sin curar. Una excepción es la resistencia obtenida de la muestra curada con dos capas de Chema Membranil a los 3 días, la cual es ligeramente superior a la resistencia por inmersión.

- Todos los valores de resistencia a la compresión correspondientes a dos capas de curador químico superan los valores correspondientes al curado con una sola capa de aditivos químicos.

- La aplicación de dos capas de curador químico incrementan la resistencia a la compresión del concreto 7.4 % a los 3 días, 7.7% a los 7 días, 7.9% a los 14 días, 8.2% a los 21 días y 6.2 % a los 28 días respecto de la curación con una sola capa de curador químico.

- El máximo valor de resistencia a la compresión obtenida con curadores químicos fue con la aplicación de dos capas de Chema Membranil (18.1 MPa) mientras que la menor fue Sika Antisol (15,56 MPa).

- Ninguna de las pruebas de resistencia del concreto curado con dos capas de curadores químicos alcanzó los 21 MPa objetivo.

En este sentido se desestime la hipótesis nula  $H_0$ , en tanto la aplicación de dos capas de curadores químicos sí influye en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de manera positiva.

#### **4.2.4 Tercera Hipótesis específica.**

Para la hipótesis general se planteó la Hipótesis Nula  $H_0$  y la Hipótesis Alternativa  $H_1$  de la siguiente manera:

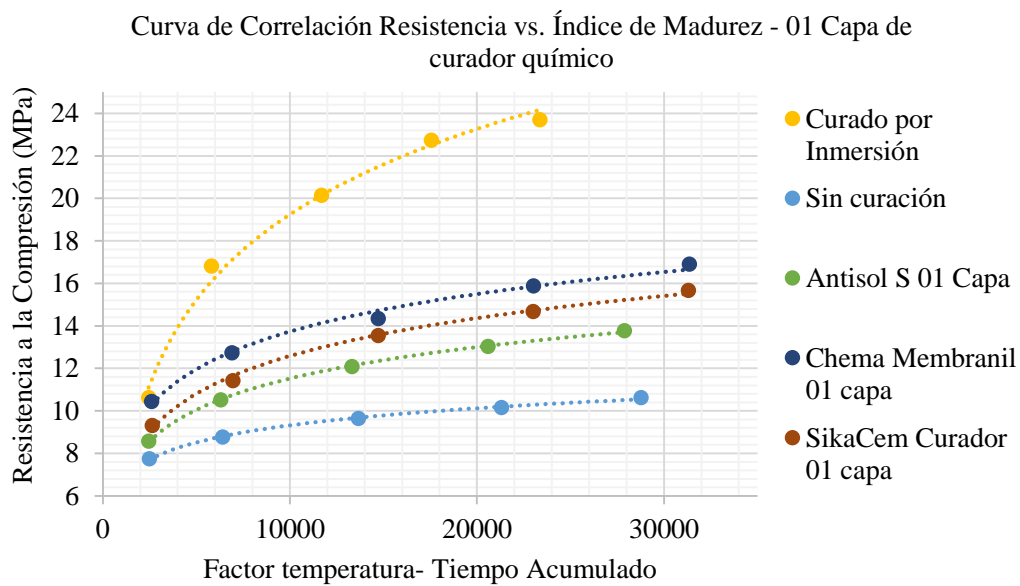
H<sub>0</sub> : La aplicación de curadores químicos no tiene efectos en la madurez del concreto de 21 MPa.

H<sub>1</sub> : La aplicación de curadores químicos produce mayores valores en la madurez del concreto de 21 MPa.

#### 4.2.4.1 Comparación de resultados de la aplicación de una y dos capas de curadores químicos sobre la madurez del concreto.

**Figura 46**

*Curvas de correlación de resistencia a la compresión e índice de madurez del concreto con una capa de curador químico*

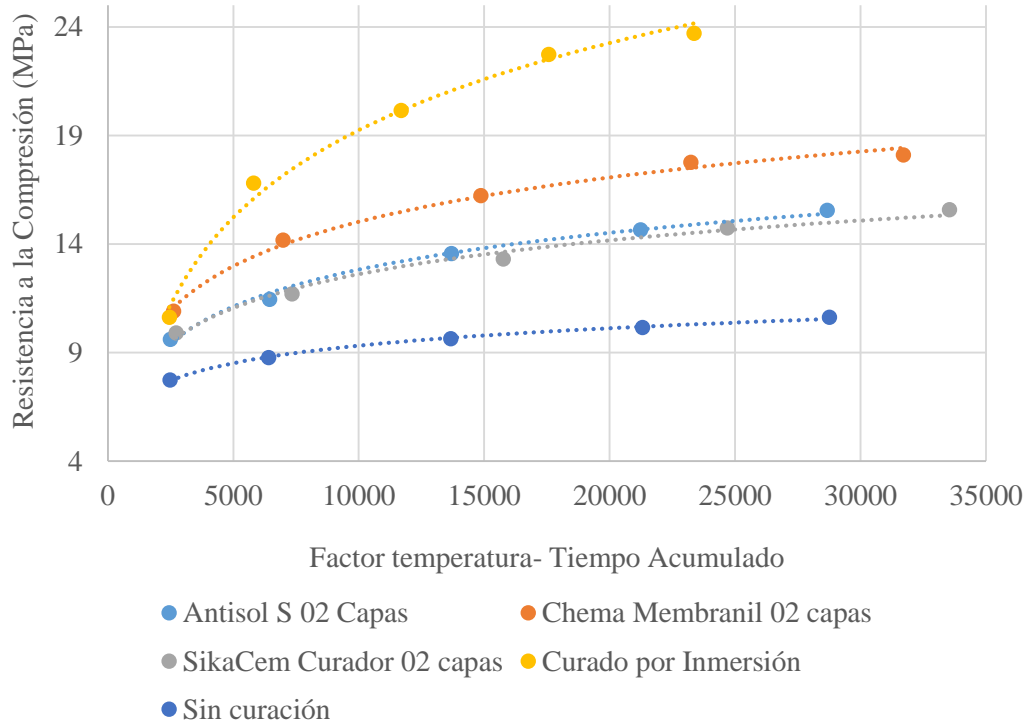


La Figura 46 muestra que los tres curadores químicos llegan a similares índices de madurez, no obstante, con diferentes resistencias a la compresión

**Figura 47**

*Curvas de correlación de resistencia a la compresión e índice de madurez del concreto con dos capas de curador químico*

Curva de Correlación Resistencia vs. Índice de Madurez -  
02 Capas de curador químico



*Nota.* Se observa que los tres curadores químicos muestran similares índices de madurez, aunque presentan distintos valores de resistencia.

En la Tabla 36 se listan los datos obtenidos en el apartado de resultados de resistencias a la compresión del concreto con una y dos capas de curadores químicos, así como los valores de índices de madurez a los 28 días.

**Tabla 37**

*Promedio de resistencia a la compresión e índice de madurez de acuerdo al número de capas aplicadas de curador químico al concreto a los 28 días*

Aplicación de curador químico	Promedio de Resistencia a la Compresión (MPa)	Promedio de Índice de Madurez
-------------------------------	---	-------------------------------

01 capa de curador	16.41	31307
02 capas de curador	11.59	30182

De acuerdo a las Figuras 46 y 47, y la Tabla 37 podemos observar lo siguiente:

- Las curvas de correlación entre índices de madurez y resistencias a la compresión, tanto para las muestras con una capa de curador químico como dos capas de curador químico, empiezan en similares condiciones, pero conforme progresa la madurez del concreto se van diferenciando de acuerdo a la resistencia a la compresión desarrollada.

- El menor índice de madurez del concreto corresponde a las muestras de concreto curadas por inmersión, las cuales a su vez muestran los mayores valores de resistencia al concreto.

- El mayor índice de madurez del concreto a los 28 días está dada por las muestras de concreto curadas con dos capas de Sika Cem Curador.

- Las muestras de concreto con dos capas de curadores químicos presentaron, en promedio, un índice de madurez del concreto 3.7% mayor que las muestras con una sola capa de curador químico a los 28 días.

Por tanto, se desestima la Hipótesis Nula  $H_0$ , en tanto se observa que la aplicación de capas de curadores químicos influye positivamente en el desarrollo de la madurez del concreto con respecto al concreto sin curar.

### 4.3 Discusión de resultados

Los resultados son similares a los obtenidos por Gómez et al. (2019), en tanto la aplicación de curadores químicos tuvo una influencia positiva en la

resistencia del concreto, sin embargo, los autores observaron que se alcanzó el 99% del valor de la compresión objetivo a los 28 días. Asimismo, coinciden que el concreto sin curar produce los menores resultados de resistencia, mientras que el concreto curado por inmersión alcanza y supera la resistencia esperada. Durand y Salazar (2021), por su parte encuentran una relación positiva entre la aplicación de aditivos químicos en el curado del concreto y la resistencia a la compresión.

Bolaños (2011) también encuentra una correlación positiva entre la aplicación de curadores químicos y la resistencia a la compresión, así también encuentra que el uso de distintos productos produce diferentes valores de resistencia, pero los valores son cercanos entre sí, lo cual concuerda con los hallazgos encontrados. El autor también encuentra que las menores resistencias corresponden al concreto sin curar.

Jordán, Montoya y Ocoró (2017) hallan que la aplicación de curadores químicos no alcanza la resistencia objetivo a los 28 días, respecto a los curados tradicionales, lo cual concuerda con esta investigación en tanto que todos los resultados con curadores químicos se encontraron por debajo de 21 MPa esperado. A su vez encuentra que el curado por inmersión produce los mayores resultados de resistencia a la compresión, en comparación con otros métodos de curado.

Asimismo, Guichapai (2008) observa que no curar el concreto produce los menores valores de resistencia a la compresión mientras que el curado con abundante agua (riego continuo) obtuvo los mejores resultados. Con respecto a la aplicación de curadores químicos, el autor encuentra que este método de curado

produjo el 88,18% del valor esperado, por debajo del valor de resistencia objetivo, lo cual concuerda con la presente investigación.



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

**Primera.** La aplicación de curadores químicos en el concreto tiene un efecto positivo en la resistencia a la compresión del concreto de 21MPa en la ciudad de Moquegua. Se encontró que la aplicación de una y dos capas de los curadores químicos Sika Antisol S, Chema Membranil y SikaCem Curador incrementó la resistencia a la compresión del concreto desde 29.7% (13.77 MPa) hasta 70,4% (18.1 MPa) con respecto a las muestras sin curar, no obstante, el concreto curado mediante curadores químicos no alcanzó el valor de resistencia objetivo a los 28 días. Asimismo, las muestras curadas por inmersión arrojaron resistencias a la compresión a los 28 días mayores que todos los resultados obtenidos con curadores químicos con un valor de hasta 130,5% (23.7 MPa) del valor de resistencia objetivo.

**Segunda.** La aplicación de una capa de curador químico tiene una influencia positiva en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua. En promedio la aplicación de una capa de

curadores químicos incrementó la resistencia a la compresión en 45.5% con respecto al concreto sin curar a los 28 días. Asimismo, la aplicación de una capa de Chema Membranil produjo la mejor resistencia (16,91 MPa), alcanzando el 80.5% del valor objetivo a los 28 días.

**Tercera.** La aplicación de dos capas de curadores químicos al concreto tiene una influencia positiva en la resistencia a la compresión del concreto de 21MPa en la ciudad de Moquegua. La aplicación de dos capas produce mayores valores de resistencia que la aplicación de una sola capa, no obstante, la diferencia es marginal en tanto el incremento es de tan solo 6.2% a los 28 días con respecto a las muestras con una sola capa. El curador químico con mejor resultado de resistencia mediante la aplicación de dos capas fue Chema Membranil alcanzando 18,1 MPa, 86,2 % de la resistencia a la compresión objetivo.

**Cuarta.** La aplicación de curadores químicos para la curación del concreto tiene una influencia significativa en la madurez del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua. Tanto la aplicación de una como dos capas de curadores químicos produjeron un incremento en el índice de la madurez del concreto con respecto a las muestras sin curación, no obstante, el valor de la madurez de la aplicación de dos capas fue 3,7% mayor que el índice de madurez del concreto con una sola capa de curador químico.

## **5.2 Recomendaciones**

**Primera.** La investigación del efecto de los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto es un estudio muy importante a fin de brindar

soluciones prácticas a problemas ingenieriles y de disponibilidad de recursos cada vez más escasos como es el agua y la mano de obra. En este sentido se deben evaluar todos los aspectos que intervienen en la resistencia a la compresión final del concreto. Esto incluye el estudio del diseño de la mezcla, debido a que cada uno de sus componentes poseen propiedades específicas. Cada uno de estos materiales que integran la mezcla ya sea el tipo de cemento, el tamaño y calidad del agregado fino y grueso, y los aditivos del concreto, determinarán finalmente en conjunto con las características ambientales de temperatura y humedad el resultado final. Es así que se deben tomar en cuentas todos estos factores a fin de determinar el método más adecuado de curado para el proyecto a desarrollar.

**Segunda.** Se debe extender el análisis y evaluación de la resistencia a la compresión del concreto por medio de diferentes métodos de curado a más de 28 días, en tanto se ha verificado que las muestras de concreto estudiadas aquí con aplicación de curadores químicos de una y dos capas no llegaron al 100% de la resistencia esperada de 21 MPa luego de 28 días.

**Tercera.** La selección del método de curado y el curador químico a utilizar depende del proyecto a desarrollar y de las características de diseño del mismo. Si bien aquí se han obtenido distintos resultados de resistencia a la compresión del concreto con el uso de distintos curadores químicos, esto no quiere decir que existe un producto absolutamente superior, en tanto se han observado distintos resultados en otras investigaciones, por lo que

se puede teorizar que existen otros factores como la temperatura y humedad ambientales, el diseño de mezcla u otros factores intervinientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J. (2020). *Variación de la Resistencia a Compresión del Concreto 210, 245, 280 Kg/cm<sup>2</sup> frente a diferentes Métodos de Curado, Lima – 2019*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.
- American Concrete Institute (2016). *ACI PRC-308-16: Guide to External Curing of Concrete*
- American Concrete Institute (2019). *ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- American Concrete Institute (2022). *ACI PRC-211.1-22: Selecting Proportions for Normal-Density and High Density-Concrete – Guide*.
- ASTM International (2014). *ASTM C39/C39M: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- ASTM International (2015). *ASTM C127-15: Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso*.
- ASTM International (2017a). *ASTM C1064/C1064M-17: Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete*.
- ASTM International (2017b). *ASTM C29/C29M-17a: Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*.

- ASTM International (2017c). *ASTM C138/C138M-17a: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.*
- ASTM International (2018). *ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates.*
- ASTM International (2019a). *ASTM C 309-19: Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete*
- ASTM International (2019b). *ASTM C136/C136M-19: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*
- ASTM International (2019c). *ASTM C31/C31M-19: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.*
- ASTM International (2020). *ASTM C156-20: Standard Test Method for Water Loss [from a Mortar Specimen] Through Liquid Membrane-Forming Curing Compounds for Concrete.*
- ASTM International (2020). *ASTM C143/C143M-20: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.*
- ASTM International (2022). *ASTM C231/C231M-22: Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.*
- Andía, J. (2019). *Evaluación geotécnica del agregado morrénico y su influencia en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto – Sapallanga – Huancayo – Junín.* [Tesis de Maestría]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Bolaños, V. (2011). *Comparación entre concretos curados con compuestos formadores de membrana y un producto elaborado con nanotecnología en relación con la retención de agua y la resistencia a la compresión*. [Tesis de Maestría]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia.
- Cáder, G. y Oliva, C. (2012). *Adaptación del Método de Diseño de Mezclas de Concreto según ACI 211.1 utilizando los Tipos de Cemento ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 tipo HE*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio de la Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Cahui, E. (2021). *Evaluación de la Resistencia del Concreto de  $F'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> mediante el Empleo de Aditivo Superplastificante Reductor de Agua - Moquegua, 2019*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad José Carlos Mariátegui.
- Carino, N. y Lew H. (2001). *The maturity method: From Theory to Application*. Structures Congress and Exposition 2001. [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=860356](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860356).
- Contreras, S. y Velazco, C. (2018). *Análisis Comparativo del Método de Curado en especímenes de Losas de Concreto Simple, simulando Condiciones Constructivas de Obra en la Ciudad de Arequipa*. [Tesis de Pregrado]. Repositorio de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Duran, J (2018). Estudio de las propiedades del concreto  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> aplicado a condiciones simuladas de curado en obra, en la ciudad de Arequipa, con

cemento portland tipo IP. [Tesis de Pregrado]. Repositorio de la Universidad San Agustín de Arequipa.

Durand, N y Salazar, H. (2021). *Aditivos Químicos Aplicados Durante el Curado para mejorar las Propiedades Mecánicas del Concreto*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma.

Gómez, S., Hoyos, M., Ospina, T. y Revilla, V. (2019). *Afectación de la Resistencia a la Compresión de Probetas en Concreto Hidráulico ante diferentes Métodos de Curado*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Libre Seccional Pereira. Colombia.

Guichapai, F. (2008). *Comparación de tres Métodos Prácticos de Curado de Hormigón aplicados en Obras Menores frente a un Patrón de hormigón sin curar*. [Tesis de pregrado]. Cybertesis. Universidad Austral de Chile.

Horna, J. (2018). *Influencia de los curadores, tiempo de curado y número de capas en la superficie del concreto sobre la resistencia a compresión, Trujillo 2018*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2020a). *NTP 334.009:2020: CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos. 7a Edición*

Instituto Nacional de Calidad (2016). *NTP 339.217:2016. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez*.



Instituto Nacional de Calidad (2020a). *NTP 334.009:2020. CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos. 7a Edición.*

Instituto Nacional de Calidad (2020b). *NTP 334.090:2020. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos. 8va Edición.*

Instituto Nacional de Calidad (2021). *NTP 339.088:2021. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos.*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2020b). *NTP 400.011:2020: AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.*

Jácobo, A. (2019). *Influencia del Curado del Concreto con Agua y Curado Artificial en la Resistencia a la Compresión del Concreto.* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo.

Jordán, J., Montoya, J. y Ocoró, K. (2017). *Comparación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes de Concreto Hidráulico sometidos a Condiciones Tradicionales de Curado y Humedad Ambiental.* [Tesis de Pregrado]. Repositorio de la Universidad Libre Seccional Pereira. Colombia.

Lam, M.(2005). *Estudio de la Variabilidad de la Resistencia del Concreto aplicando Curador Químico de uso externo y utilizando cemento Portland tipo I.* [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Larijo, A.(2021). *Comparación de los curadores químicos de concreto para resistencia a la compresión de  $F'_{C} = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Moquegua 2019*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad José Carlos Mariátegui.
- Laura, S. (2006). *Diseño de Mezclas de concreto*. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Merma, L., y Moscoso, T. (2018). *Análisis Comparativo de la Resistencia a Compresión del Concreto con un Curado Tradicional evaluado con la Máquina a Compresión Directa frente a un Concreto Curado con Curadores Químicos Evaluado con el Equipo de Pulso Ultrasónico PUNDIT, Cusco 2018*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Andina del Cusco.
- Ortiz, F. (2020). *Comparación entre el Curado Convencional de Concreto y Curado con Antisol en la Resistencia al Concreto*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Peruana Los Andes.
- Portland Cement Association (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. En Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi (Ed.)
- Quispe, D. (2017). *Aceleración de la Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto Hidráulico en diferentes Relaciones Agua-Cemento con Empleo de Agua en Ebullición*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

Sika (2015). *Sika Informaciones Técnicas: Curado del Concreto*. ISSN-0122-59.  
<https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/e/Curado%20del%20Concreto.pdf>

Sika Colombia (2014). *Las Fisuras en el Concreto Reforzado*.  
<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/50ba5246-de4a-3dbe-8662-918382523e35/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO.pdf>

Tejada, L. (2016). *Efectividad del Curado Interno del Concreto mediante la Saturación del Agregado Grueso en comparación a otros Tipos de Curado*. [Tesis de postgrado]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Valencia, G. e Ibarra, M. (2013). *Estudio Experimental para determinar Patrones de Correlación entre la Resistencia a Compresión y la Velocidad de Pulso Ultrasonico en Concreto Simple*. [Tesis de pregrado]. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

## ANEXOS

### Matriz de Consistencia

**TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:** INFLUENCIA DE CURADORES QUÍMICOS PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO DE 21 MPA EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA.

**BACHILLER:** MAYKOL STEVE FERNANDEZ NINA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>1. Problema General</b>	<b>1. Objetivo General</b>	<b>1. Hipótesis General</b>	<b>1. Variables</b>	
¿Cómo influyen los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?	Identificar el efecto de los curadores químicos en la resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	La aplicación de métodos de curación con aditivos químicos produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	<b>I. Variable independiente:</b> Curador químico, Número de capas de curador químico.  <b>II. Variable dependiente:</b> Resistencia a la compresión, madurez del concreto.	<b>A. Tipo de investigación</b> - Aplicada  <b>B. Diseño de la investigación</b> - Experimental cuantitativa  <b>C. Ámbito de estudio</b> - Ciudad de Moquegua
<b>2. Problemas Específicos</b>	<b>2. Objetivos Específicos</b>	<b>2. Hipótesis Específicas</b>	<b>2. Indicadores</b>	<b>D. Población</b>
¿Cuál es el efecto de la aplicación de una capa de curador químico en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?	Evaluar cómo la aplicación de una capa de curador químico influye en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	La aplicación de una capa de curador químico produce menores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	<b>Curador químico</b> 1. Sika Antisol S. 2. Chema Membranil 3. SikaCem Curador.  <b>Número de aplicaciones del curador en el concreto</b> -Número de capas aplicadas.	- Concreto de 21 MPa de la ciudad de Moquegua  <b>E. Muestra</b> - 128 probetas de concreto
¿Cuál es el efecto de la aplicación de dos capas del curador químico en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021?	Definir cómo la aplicación de dos capas de curador químico influye en la resistencia del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	La aplicación de dos capas de curadores químicos produce mayores valores de resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa en la ciudad de Moquegua en el año 2021.	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b> - Evolución de la resistencia a la compresión  <b>Maduración del concreto (C° x h)</b> - Variación de temperatura - Evolución del calor de hidratación	<b>F. Técnicas de recolección de datos</b> - Registros de recolección de datos - Codificación de resultados  <b>G. Instrumentos</b> - Prensa Hidráulica Utest - Datalogger - Termómetro digital. - PC Portátil - Software estadístico SPSS
¿Cuál es el efecto de la aplicación de curadores químicos en la madurez del concreto de 21 MPa en	Hallar cómo la aplicación de curadores químicos influye en la madurez del concreto de 21 MPa	La aplicación de curadores químicos produce una mayor madurez del concreto de 21 MPa		

la ciudad de Moquegua en el año  
2021?

en la ciudad de Moquegua en el  
año 2021.

en la ciudad de Moquegua en el  
año 2021.

---